農業試驗所特刊：第214號

產業現況及研究發展國際設施研討會論文專刊

主辦單位:行政院農業委員會農業試驗所

中華民國:107年12月

產業現況及研究發展國際設施研討會論文專刊

行政院農業委員會農業試驗所

Taiwan Agricultural Research Institute

ISBN： 978-986-05-8228-4

GPN: 1010702639

序文

為因應極端氣候與全球發展設施產業趨勢，農業試驗所於102年開始研提設施農業相關研究與技術開發之計畫構想，以提升國內設施農業整合研究能量與產業技術，103年度「設施農業升級及產業加值化」計畫整併成為農委會「推動農業科技產業全球運籌」政策型計畫之分項計畫來執行，開啟了為期4年的設施研究科技計畫，計畫目標為結合溫室工程及農業栽培技術，以「整廠輸出」方式，扶植國內業者建立符合熱帶/亞熱帶氣候需求之溫室產業，以提升國際競爭力，同時解決國內目前設施栽培所遭遇之問題。「設施農業升級及產業加值化」聚焦兩大研究目標：「結合農工商異業，整合軟硬體及栽培技術，建立農業設施整廠輸出之創新營運模式」與「建構熱帶/亞熱帶園藝設施產業全球價值鏈，穩定國內優質安全農產品供應體系」。以目前產業發展瓶頸及不同類型設施所需的關鍵技術鏈為研發標的，整合產、學、研各界組成跨領域合作團隊，進行設施農業研發及推廣，本研討會論文匯集四年來計畫研究成果，內容有：

一、設施設計升級：利用模擬軟體進行設施結構及抗風性之評估，設計具有抗颱風能力之強固型溫室。開發開頂結構之溫室設施形式，利用自然對流方式減低夏季高溫，並研發不同透光性之設施被覆材料。

二、環控技術升級：配合開頂溫室導入水牆風扇及微霧降溫技術，精準控溫以穩定作物生產環境。透過感測器之佈建，導入可由雲端即時監控溫室環境之ICT技術。另針對植物工場產業技術缺口，進行本土化感測器、養液管理系統及相關栽培機械研發。

三、設施生產體系升級：開發離土栽培生產技術，立體化栽培體系關鍵技術，設施內病蟲害管理SOP及安全用藥模式，建立設施栽培作物之安全生產及周年栽培體系。配合「黃金廊道農業新方案」推動溫室設施省水灌溉技術，加強水資源利用效率，結合綠能發展高效節能之創新農產業及行動式植物工場生產模式，以建構高科技、節能、省水、高經濟價值之農產業。

四、農業設施國際合作：配合政府推動「新南向」政策以建構農業設施整廠輸出營運服務模式，開拓新興市場。目前已在印尼及多明尼加建立示範性農業設施，進行東南亞國家市場供需調查、產業動態趨勢分析，建置熱帶/亞熱帶設施農業價值鏈，並藉由相關國際合作及能力建構，落實農業設施產業化之推動。

在 4 年期計畫執行過程中，105 年尼伯特、莫蘭蒂及梅姬颱風相繼造成 2,500 公頃農業設施損害，經檢視設施毀損嚴重者多為結構材料強度不足或設計不當之簡易型溫網室，為保護蔬果生產及穩定供應，本所即刻邀集計畫相關研究人員組成設施技術服務團，以整合研究計畫所建構之能力，完成強固型溫室設施之設計，協助農委會自 106 年起的設施型農業計畫，以輔導推動興建 2,000 公頃強固型溫網室設施之目標。

本計畫研究團隊目前已將相關研發成果整合於農業試驗所之設施農業驗證基地，期研究規模擴大至產業實際應用，提供農民、農企業及國外人士有關設施農業觀摩參訪據點。此外，同時參與農民學院溫網室設施環控及栽培管理技術課程，以培訓青年農民加入溫網室設施栽培行列。未來期能以設施品種加上專業栽培管理技術，再結合溫室工程軟硬體，全面建構設施型農業發展新方向。

所長

目 錄

溫室防颱結構材料技術研究 1
溫室內作物對風力通風影響之數值模擬 9
單斜式溫室表面風壓之風洞試驗與數值模擬 17
溫室設計圖面建構與數值模擬分析應用 25
設施蘆筍省工管理及節水栽培模式建立 31
設施小果番茄節水灌溉 42
溫室用創新節能披覆材料開發 47
溫室生產能源利用效率評估及餘能再利用技術之建立 54
適用於熱帶改良型溫室之環境控制系統及應用綠能科技於補光模組之開發 61
自動排汙過濾系統之研發及應用於設施廢水處理之研究 66
設施栽培風光互補綠能電力支援與管理系統之加值化研究 71
建置節水灌溉與雨水收集循環利用處理系統之試驗研究 77
黃金廊道移動式菇類植物工場 86
開頂溫室控制系統及微霧降溫技術研究 91
設施內害蟲誘引排除裝置之開發與研究 98
蝴蝶蘭害蟲查詢系統之運用 104
設施甜椒關鍵害蟲管理及安全生產模式之研發與應用 109
The recirculated hydroponic system for strawberry nursery production in plant factorie 114
Yield prediction of hydroponic grown lettuce base on nutrient uptake in plant factory 125
Bioponics for lettuce production in plant factory with artificial lighting 133
Status of Plant Factory Industry and Recent Research in Taiwan 142
Effects of OLED as light source to the growth and antioxidants-concentration of broccoli sprout 155
Study on cultivated low-potassium lettuce (Lactuca sativa L.) in plant factory 161
不同栽培槽對設施瓜果類蔬菜生育之影響 173
設施青蔥生產改進研究 182
設施苦瓜栽培技術之研究 194
篩選適用甜椒栽培之微生物資材 206
不同栽植方法與栽植方向對小果番茄之影響 216
稻殼在溫網室葉菜類蔬菜離地栽培之應用 221
補光對設施番椒生產之影響 228
設施內山葵氣霧耕生產之研究 242
水簾設施在菇類產業之應用 252
溫室番木瓜矮化高產技術之研究 259

芒果設施栽培生產體系建置-臺南地區芒果簡易設施栽培體系建立 264
設施夏雪芒果產調技術之評估 272
運用智慧環控設施建立春石斛產期調節技術 280
文心蘭簡易設施栽培體系之研究 287
小花蕙蘭簡易設施栽培技術建立 295
薑荷花設施栽培技術建立 303
夏季遮陰對繡球花營養生長之影響 309
切花火鶴盆植設施栽培技術 315
我國設施農業產業基礎資料建置與經濟效益推估 321
越南與泰國設施農業市場與商機分析 332
馬來西亞與印尼設施農業市場與商機分析 340
馬來西亞設施農業現況分析 347

溫室防颱結構材料技術研究

黃金川、楊順傑、鄭伊芬、黃宏群
金屬工業研究發展中心

一、摘要

高溫、強風、暴雨為熱帶及亞熱帶地區常見的三大環境負荷。本研究提出了溫室抵抗環境負荷的設計原理與原則，並依造溫室所在地點的地形、地貌及強風暴雨之經驗數據，以進行溫室外部環境負荷抵抗設計，並考量溫室內的農作物所需的作業模式、需求空間動線及溫溼度參數進行溫室的內部環境控制設計，以完成溫室之總體規劃設計。本研究在溫室結構材料上，提出以材質優化、形狀設計、表面處理等三項材料製程設計與控制技術，以提升結構材料之結構強度、輕量化省成本及高耐蝕壽命性。並在溫室防颱強化上，提出結構強化、內部強化、外部強化及破風強化等四項防颱設計技術，以提升各種面對不同颱風等級時之防颱策略技術。

關鍵字：溫室、輕量化、結構材料

二、前言

臺灣地處亞熱帶，常見氣候正為冬天天氣寒冷，東北季風強勁，夏天酷熱，颱風多，且暴雨頻繁。加上近年來全球的強烈氣候變遷，強風暴雨，已成為此地區之農作物栽培持續會面臨的嚴苛挑戰，往往強颱侵襲下溫室受損嚴重(如圖 1)。因此以溫室進行之農作物栽培，將可提供了較穩定的栽培環境，能提高產能及穩定的農作物供給模式。但溫室的結構須承受外部環境的強風暴雨侵襲，溫室的內部環境也須面臨劇烈熱能累積，相對於如荷蘭之溫寒帶溫室，這都是我國溫室設計所需面臨挑戰的特別課題。各型農業設施的外部結構，都會面臨嚴苛的天候因素挑戰。以臺灣溫室夏天所面臨最大的挑戰即是颱風的侵襲及瞬間的大雨，這對基於成本考量下非高安全係數設計的溫室有極大的傷害風險。加上臺灣溫室於沿海有大量的應用，故對耐蝕性亦有相當的考量。目前在臺灣使用之農業栽種設施會遭遇的外在因素包含靠近海邊沿岸的區域鹽分較重，金屬結構易受鹽害銹蝕，而靠近工業區的區域易受酸雨或化學物質侵襲，導致使用年限不長。

內在因素則因為植物栽種的溫濕度環境需求，易造成栽種設施結構銹蝕。而農業投資仍為勞力密集獲利不易，故成本是一大重點。因此開發輕量化、高強度結構、高耐蝕性的臺灣特色之農業栽種設施及材料結構，極具有研究開發價值，另施作容易度及成本控制也是考量之重點。

圖 1 溫室受颱風侵襲的受損圖

三、材料與方法

先進農業生產國家，對農業設施大部分採較一般建築為寬鬆之規定，並針對溫室訂定相關規範，如美國國家溫室廠商協會結構設計手冊乃依據美國建築法規及美國土木工程學會標準，但其與一般基本建築物之間有不同載重係數[1]；歐州多國學者進行溫室設計研究，並由歐州標準化技術委員會訂立溫室結構與設計標準[2]；日本施設園藝協會出版園藝用設施之安全構造基準，但其中設施之風壓力及地震力仍依據日本建築基準法施行令計算[3]。

目前台灣則以農委會制定六種農業溫室標準圖樣[4][5](如圖 2)及內政部公告之建築物耐風設計規範及解說[6]供參考使用。台灣學者專家對於溫室結構也有相關之研究，對溫室也使用有限元素分析軟體進行溫室結構應力分析，探討對抗風強度之影響，也有使用風洞實驗研究溫室的風力負載[7][8]。隨著溫室的防颱設計迫切需求，溫室的防颱研究也隨之興盛。

本研究提出在溫室結構材料上，以材質優化、形狀設計、表面處理等三項材料製程技術，以提升結構材料之結構強度、輕量化省成本及高耐蝕壽命性。

3.1 溫室設計的原則如下：

1. 溫室的功能以農作物之栽培為主要目的，基於成本考量，溫室設計非如同住宅及工廠之設計般具有相當高的安全係數，所以針對溫室所將面臨的環境負荷需仔細的考量設計與分析，以同時符合安全性、成本性與壽命性的考量。
2. 溫室所面臨的結構負荷包含自身之重力負荷、大自然之環境負荷、及氣候變遷所帶來的新衝擊負荷。而這些負荷的模式又包含了強度負荷、變動負荷、衝擊負荷、反覆負荷。溫室實際所面臨的強風暴雨，跟地形地貌有很大的相互關係，瞬間的

陣風強度往往會超出氣象報告所能完整預測。而台灣地處亞熱帶，其所面臨的強風暴雨，已成為溫室設計所必須面對的嚴苛挑戰。

3. 溫室以封閉型式設計形成結構強度，但破壞均往往發生於一起點，而起點經常是弱點或奇異點，一旦破壞形成，則會造成連鎖的破壞，跟開始的封閉設計又會有相當的不同，故任何破壞的細節均是考量的重點。而任一材料的破壞模式主要有應力破壞、應變破壞、疲勞破壞，除了拉力、剪力、扭力等瞬間的力量形式，長期所受的疲勞破壞亦為考量重點。
4. 材料結構扮演的角色即要面臨負荷時的力量與變形之抵抗與傳遞。最適當的結構設計在於當負荷來臨時，能同時讓多項的材料元件去共同承擔這負荷，並可以將瞬間的負荷可順利地傳遞到地面，讓大自然的衝擊回到地球上。

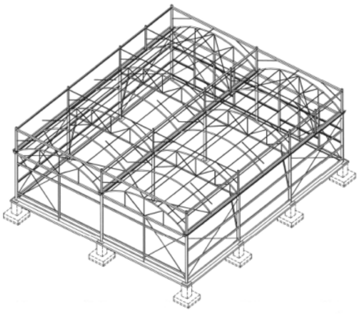
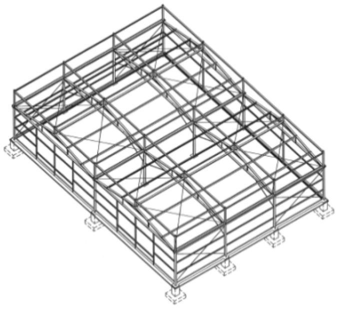
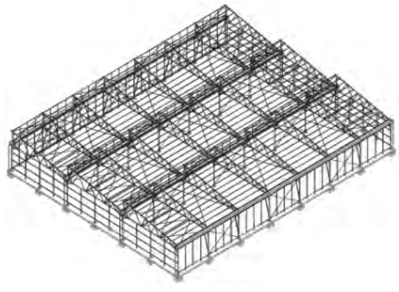
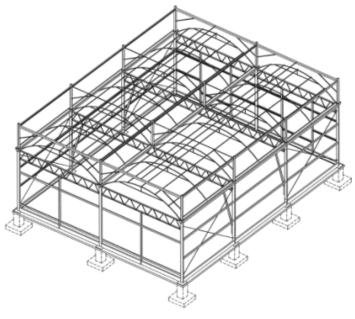
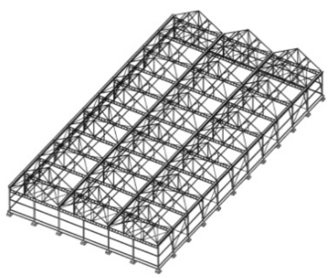
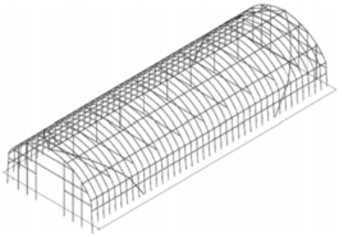
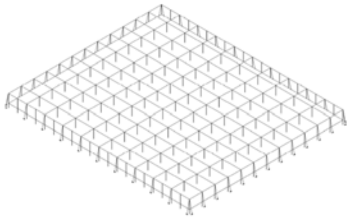
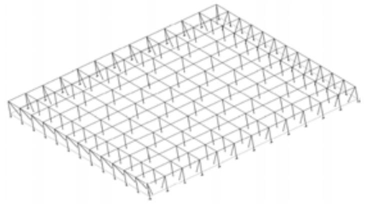
		
UBP 圓頂塑膠型溫室	VBP 山型塑膠型溫室	SP 單斜背塑膠型溫室
		
UTP 圓頂力霸塑膠型溫室	VTP 山型力霸塑膠型溫室	WTG Venlo 力霸玻璃型溫室
		
UP 簡易溫室	LT 水平網室	LTP 加強型水平網室

圖 2 溫室標準圖

3.2 溫室設計的主要考量因素：

1. 地理性：

   溫室座向、方位、地形、地貌都會影響風場流動，造成局部集中強風效應，導致溫室承受極大風壓。地質及地基結構，也因土壤富含水分造成鬆動，溫室支撐柱受強風吹襲將致移位。

2. 氣候性：

   颱風經過機率較高之區域，需提升溫室之耐風等級。暴雨之下之溫室排水槽設計須考量排水量及結構強度，尤其多連棟的溫室排水設計，以避免溫室屋頂積水增加結構負擔。

3. 結構性：

   溫室之材料結構與基礎之強度設計，需考慮變形、應力承受、抗彎強度等綜合考量，對連接件角色扮演，要確實掌握與落實。

4. 耐蝕性：

   溫室材料表面處理為防蝕處理之重要工作，化學性、物理性、電化學性腐蝕會造成結構材料腐蝕，使結構強度減弱，無法承受大型風壓。

四、 結果與討論

4.1 溫室強化與輕量化設計

1. 材料材質高強度化設計：

   提高材料性能可提高溫室之結構性優化，而以材料之合金強化、熱機處理的晶粒細化、應用塑性加工的變形硬化，均可以促進材料之結構強化與輕量化，但同時須經材料的屈服強度、抗張強度、抗彎強度測試以證明新材料結構之優勢。

2. 材料高剖面係數之優化設計：

   結構材料之型式優化是在不改變材料材質即可提升的新優勢材料設計，本項如與上項之結合，將可促進結構件的材質強化與剖面型式優化的同步強度提升。

3. 材料高耐蝕性設計：

   材料結構之耐蝕處理為提升高壽命性的關鍵，進行新材料的處理優化將包含鍍前處理、鍍層處理、鍍後處理、塗層處理，以提升設施農業應用的強化抵抗環境能力。

4.2 溫室抗颱強化設計

溫室設計分析首在因地制宜、考量方位及周遭環境的可能風場評估。溫室設計考量之地理位置，包含周遭環境的方位、陽光、風場、排水。受損嚴重的溫室，往往只順應交通方便與農作需求，而忽略應有的防颱防風防水之危機。溫室格局方位須將可使強勢結構面去面對最危險入風路徑, 較弱結構面則需強化。

1. 結構組合強化：
   以科學化的溫室設計與分析方法、適當的元件材質選用與處理技術及正確的連結與施工方法，以提高溫室的可靠度與使用壽命。結構組合使用具有結構強度且耐振動的連接件，依溫室結構位置搭配合適之型材構件，可以使溫室達到耐 11 級風壓之結構強度。
2. 內、外部強化：
   對已建好之現有溫室及未來興建的溫室應進行防颱強化設計，增加溫室內、外部強化結構，於溫室圓頂結構增加補強梁並於外部支柱增加支撐桿，可提升溫室耐風壓等級由 11 級風增為 12 級風。
3. 破風強化：
   極高風險的颱風路徑經過區域之溫室，增加溫室破風牆或破風網等強化結構，可提升溫室耐風壓等級由 12 級風增為 13 級風。

4.3 防颱溫室工程分析

溫室防颱設計之工程分析可依據以下步驟方法進行：

1. 針對溫室所在區域進行颱風路徑與機率分析：
   依據溫室預定設立位置，以大範圍縣市區域進行歷史颱風路徑分析，蒐集整理中央氣象局颱風資料庫之歷史資料，可得知縣市區域之颱風路徑經過方式及機率，並求得歷年颱風侵襲時之最大風速、最大陣風、最大雨量等，加以分析探討可得知縣市區域之可能風向、風力等級與颱風侵襲頻率。
2. 進行溫室側面與正面之受風力之風壓分布計算與分析：
   藉由溫室所在縣市區域之風場及雨勢資料，並以溫室設立周遭之地形地貌加以探討，以計算分析溫室側面與正面之承受風力與風壓分布。
3. 進行溫室受風等級提升一級之結構的電腦輔助工程分析：
   將溫室承受風力及風壓等級對溫室結構之影響，使用工程計算及模擬分析加以探討，並進行溫室承受風壓等級一級之性能提升。
4. 分析結構之應力應變圖及各部件之安全係數：
   藉由溫室工程計算及模擬分析，對溫室結構承受風壓後之應力應變進行分析，以求得溫室各部件之材料結構受力特性及相關安全係數。
5. 進行低安全係數之強化設計及過高安全係數部件之輕量化設計：
   依據溫室各部件之相關安全係數進行材料結構的強化設計，並對過高安全係數之部件進行輕量化設計，以求得適合之溫室零件。
6. 再提升風力級數一級，以再進行受風之結構電腦輔助工程分析：
   對於溫室部件之組合結構以受風特性進行電腦輔助工程分析，並改善修正部分材料結構強度，以提升溫室耐風力級數一級。
7. 當內部結構已經提升後，開始進行內部強化與外部強化的強化設計：

對於最適化之溫室材料結構組合，進行內部強化與外部強化之規劃，預先準備相關之部件組合連接設計，使溫室在颱風侵襲時能承受較高之風力級數。

8. 再提升風力級數一級，以進行強化設計後之溫室結構電腦輔助工程分析：
   以溫室內部強化與外部強化之材料結構設計，進行溫室結構電腦模擬分析，以提升溫室承受風力級數一級。
9. 當內部強化與外部強化設計完成後，再加載一級風力等級進行工程分析：
   依據內部強化與外部強化設計方式，提高溫室部件安全係數再進行溫室性能提升之工程分析，使溫室性能能承受加載一級風力之風壓。
10. 控制破風強化設計之破風密度，以利進行再加載一級之防颱強化設計：
   藉由增加溫室破風強化設計，並分析控制破風結構之密度，可提升溫室防颱性能與可承受風壓，使溫室防颱強化性能提升一級。

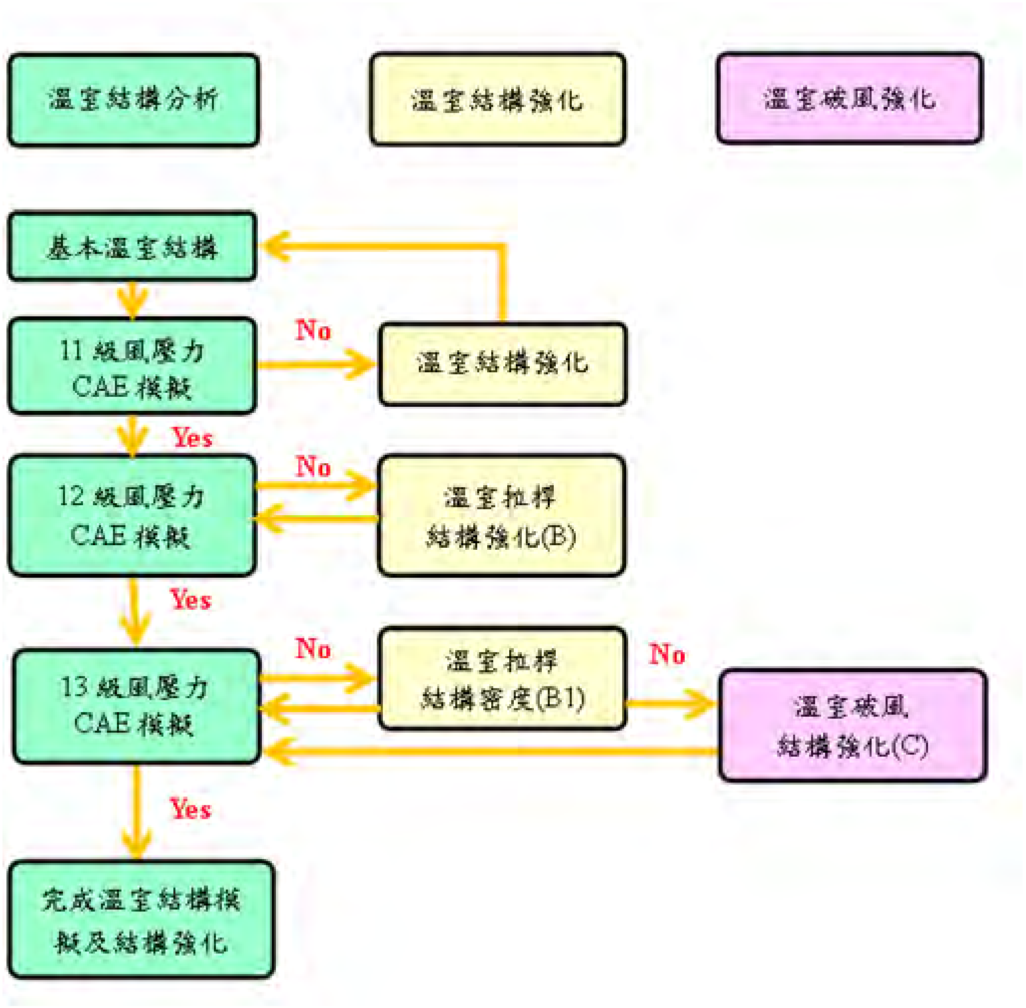


圖 3 溫室防颱設計流程圖

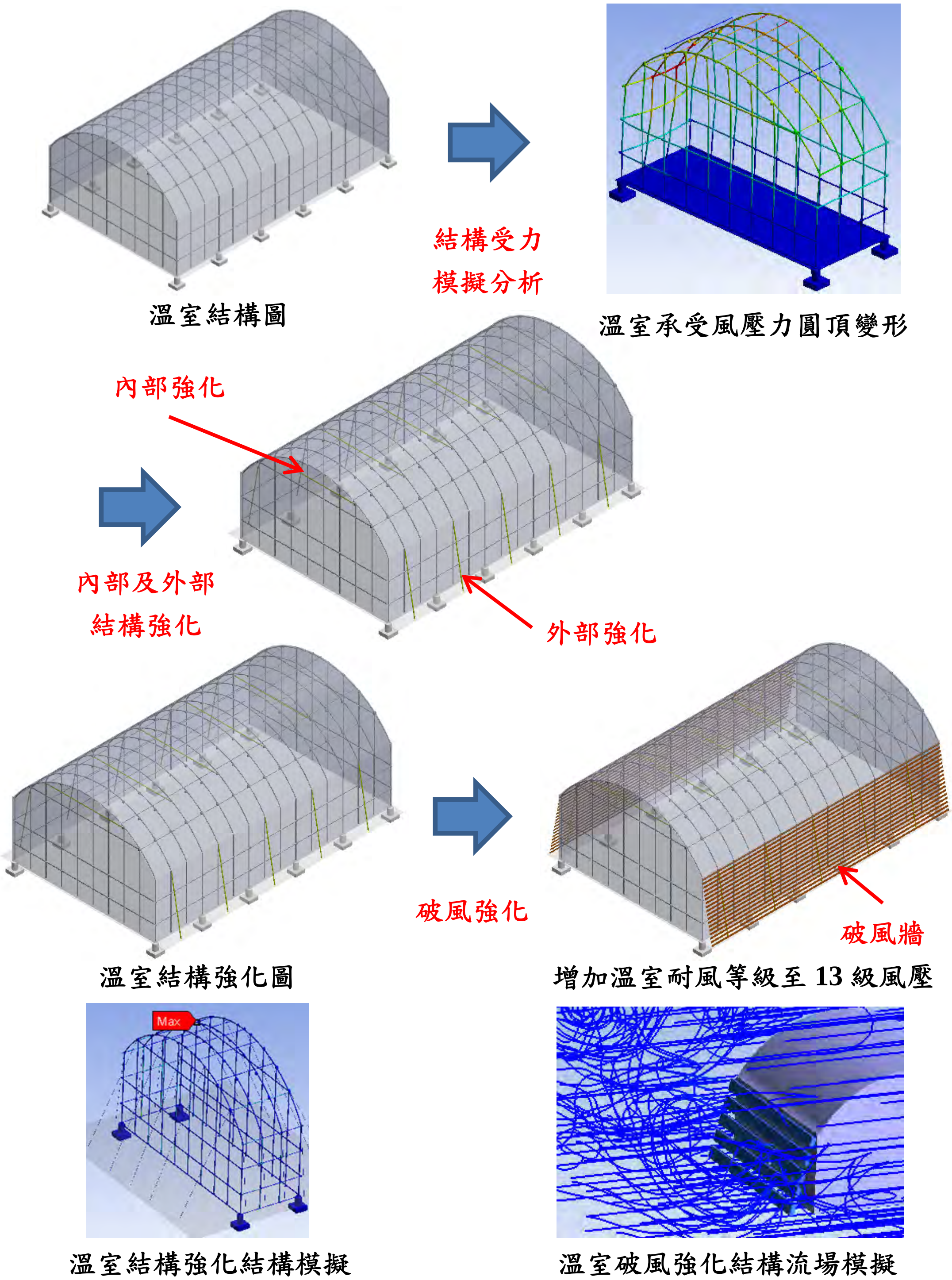


圖 4 溫室防颱設計電腦輔助工程分析圖

五、結論

本研究特針對台灣最常見的颱風侵襲抵抗，在溫室結構材料上，提出以材質強化、形狀優化、高耐蝕處理等三項技術，已成功提升結構材料之結構強度 30%以上、輕量化省成本 15%以上及高耐蝕壽命性 50%以上。並提出除結構強化以外，溫室之內部強化、外部強化及破風強化的防颱應變模式，建立在高成本效率下，面對強颱暴雨的彈性化的防颱設計，可成功提升防颱等級 2 級以上。

六、參考文獻

1. ASCE/SEI 7-10, 2013, “Minimum Design Loads for Buildings and OtherStructures”, American Society of Civil Engineers.
2. EN13031-1, 2002, “Greenhouses-Design and construction. ”, The EuropeanStandard EN.
3. 日本施設園藝協會，1997，“園藝用施設安全構造基準(暫定基準)”，
4. 行政院農業委員會農糧署，2007，“農業用溫室標準圖樣及其結構計算書”，行政院農業委員會，農糧字第 0961062406 號。
5. 中華民國內政部，2014，”建築物耐風設計規範及解說”，內政部發布法規第 1030813291 號。
6. 林明仁、洪東奇，2008，“訂定農業用溫室標準圖樣及其結構計算書簡介”，農政與農情 97 年 2 月(第 188 期)。
7. 朱佳仁、林坦誼、楊智凱、劉明怡，2016，“半圓柱形溫室風壓係數之實驗研究”，農業工程學報。
8. 陳人豪、黃裕益，2016，“抗風型 UBP 溫室之建立”，國立中興大學碩士論文。

溫室內作物對風力通風影響之數值模擬

朱佳仁、藍廷維、蔡仁凱
國立中央大學土木工程學系

一、摘要

本研究利用風洞實驗及計算流體動力學模式研究溫室內作物對貫流通風之影響，研究成果發現作物會阻礙氣流流經溫室，通風量會低於無作物之溫室，而阻礙效應與作物的密度、孔隙率有關。數值模式可使用孔隙阻力模擬作物對氣流之影響，利用風洞實驗量得之風速可校驗孔隙阻力模式中之係數，因此數值模式可正確地預測溫室內部作物後方的風場，並可量化溫室風力通風之通風量。此外，研究結果顯示：室內的作物以及溫室開口的防蟲網，皆會減弱室內風速及通風量。而縱深長的溫室，因為室內的摩擦阻力，通風量小於縱深短的建築物。

關鍵字：溫室，風力通風，計算流體動力學模式，風洞實驗，孔隙阻力

二、前言

臺灣地區夏季太陽輻射強、氣溫高，造成農業設施、溫室內部溫度過高，不適合作物的生長環境，故降低溫室內部溫度為溫室設計者及使用者必須考慮之因素(von Zabeltitz, 2011)。自然通風因為可以不耗費電力，廣為簡易型溫室所採用。但缺點是通風量隨室外大氣風速、風向、溫度而變，通風量不易控制(朱佳仁, 2006)。國外已有許多研究採用計算流體動力學模式(Computational Fluid Dynamics, CFD)研究溫室之通風與微氣候，如Reichrath& Davies (2002)及Norton et al. (2007)回顧了應用CFD於溫室的相關研究。

一些國外的研究(Majdoubi et al., 2009;Bournet&Boulard, 2010)指出溫室內的作物及開口的防蟲網皆會阻礙氣流的流動，降低通風量。但這些研究並未定量地評估作物及防蟲網通風量的降低效果，而國內尚未有作物及防蟲網對溫室通風影響之研究。本論文利用風洞實驗以及計算流體動力學模式研究溫室內作物對風壓通風之影響，並建立一個以阻抗概念的通風模式，可預測內部有作物之溫室的風力通風量，供溫室業者估算溫室的自然通風量。

三、材料與方法

本研究利用中央大學土木工程系的大型風洞來研究山形屋頂溫室內外的風場，圖1為該風洞之影像圖。溫室模型以透明的壓克力板製成，尺寸如圖2所示，縮尺比為1:20。模型前方的試驗段鋪設粗糙元、渦流產生器及阻牆製造入流流況成為紊流邊界

層流。本研究使用熱線流速儀(IFA300, TSI Inc.)量測來流之風速剖面，自由流風速U_o = 13.7 m/s，邊界層厚度= 1.55 m，指數n= 0.20。在模型前方，屋頂(H = 0.24 m)處的風速U_H = 10 m/s。溫室的表面風壓使用一台多頻道高頻率電子壓力掃瞄計(ZOC33/64PX, Scanivalve Inc.)量測建築物的表面風壓。實驗數據之取樣頻率為256 Hz，取樣時間為60秒，每個量測點共有15360筆數據。在風向垂直於屋脊(風向角= 0°)狀況下，量測單棟與連棟溫室內部風速與表面風壓。

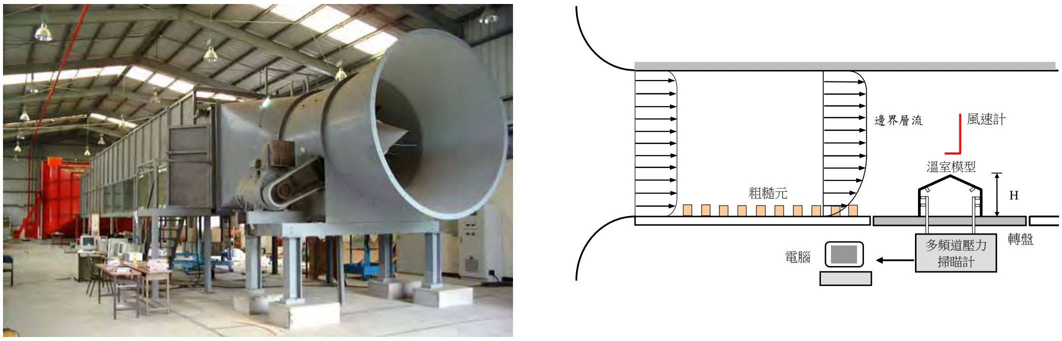


圖1.中央大學環境風洞影像圖及實驗配置圖

本研究亦採用大渦流模式(Large Eddy Simulation, LES)計算，控制方程式為連續方程式(Continuity eqn.)和那維爾-史托克(Navier-Stokes)方程式：

$$\frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_i} = 0 \tag{1}$$

$$\frac{\partial \rho \overline{u_i}}{\partial t} + \frac{\partial \rho \overline{u_i u_j}}{\partial x_j} = -\frac{\partial \bar{P}}{\partial x_i} + \rho g \delta_{i3} + \frac{\partial}{\partial x_j}\left[\mu_{eff}\left(\frac{\partial \overline{u_i}}{\partial x_j} + \frac{\partial \overline{u_j}}{\partial x_i}\right)\right] + f_d \tag{2}$$

式中下標 i、j = 1，2，3 代表 x、y、z 方向，$\overline{u_i}$ 為 i 方向之空間濾波後之速度，$\bar{p}$ 為壓力，t 為時間， ρ 為流體密度，g 為重力加速度，f_d 為流體所受的阻力，$_{eff}$ 為有效黏滯係數，定義如下：

$$\bar{\mu}_{eff} = \mu + \mu_{SGS} \tag{3}$$

其中 μ_{SGS} 是次網格尺度之紊流黏滯係數，與剪應力、網格特徵長度：

$$\mu_{SGS} = \rho (C_s \Delta_s)^2 \left(2 \bar{S}_{ij} \bar{S}_{ij}\right)^{1/2} \tag{4}$$

其中 C_s 為 Smagorinsky 模式參數，剪應變率(Rate of strain)：

$$\bar{S}_{ij} = \frac{1}{2}\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right) \tag{5}$$

而 Δ_s 為空間濾波之尺度，與網格大小有關：

$$\Delta_s = (\Delta x \Delta y \Delta z)^{1/3} \tag{6}$$

其中 Δx 、Δy 、 Δz 分別為 x, y, z 方向的網格長度。作物的阻力以下式計算：

$$\rho f_{di} = \rho \left[-\alpha \frac{\nu}{d^2} \frac{(1-n)^2}{n^3} \langle u_i \rangle - \frac{\beta}{d} \frac{(1-n)}{n^3} \langle u_i \rangle^2 \right] \tag{7}$$

其中n為孔隙率，α、β 分別為作物的滲透係數(permeability)和慣性係數(inertia factor)，d為作物枝葉的特性長度。CFD模式配合適當的邊界和初始條件，利用數值方法計算各個網格點上的風速及壓力。本研究所使用的計算域和計算網格如圖3所示，網格總數為1,172,634。最小網格集中於溫室周圍之區域，x = 0.01 m，y = 0.01 m，z = 0.01 m，遠離溫室之處計算網格逐漸變大，收斂標準為10^{-5}。

四、結果與討論

圖4為在風向角 = 0^o(風向垂直於屋脊)時，單棟山型溫室迎風面、背風面外牆的風壓係數分布圖，顯示迎風面牆的風壓皆為正壓，背風面為負壓，且CFD模式預測與實驗結果相近。圖5為單棟空溫室內部中心線的水平向風速剖面圖，風速以模型前方(不受溫室干擾)屋頂高度z = H處的參考風速U_H = 10 m/s無因次化。由此圖可看出迎風面開口處風速稍小，氣流進入室內後，風速逐漸變大。

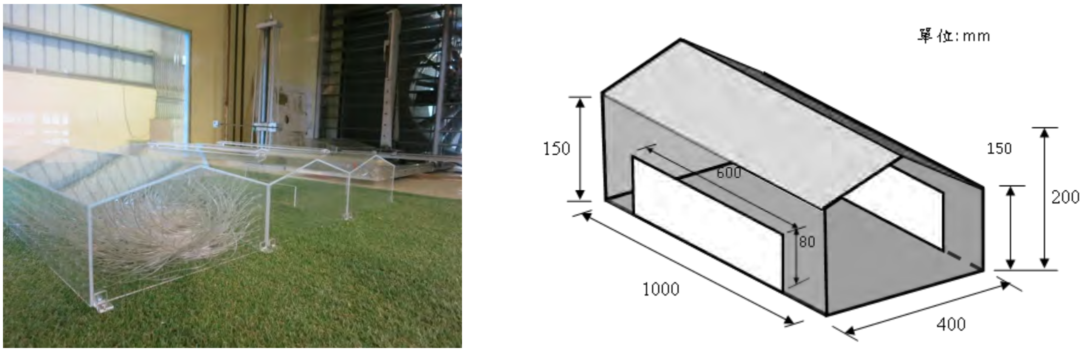


圖 2.山形屋頂溫室之示意圖與影像圖

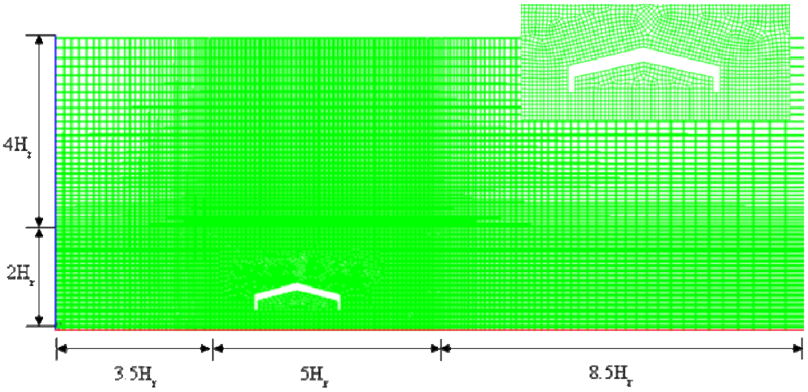


圖 3.山形屋頂溫室計算網格之側視圖

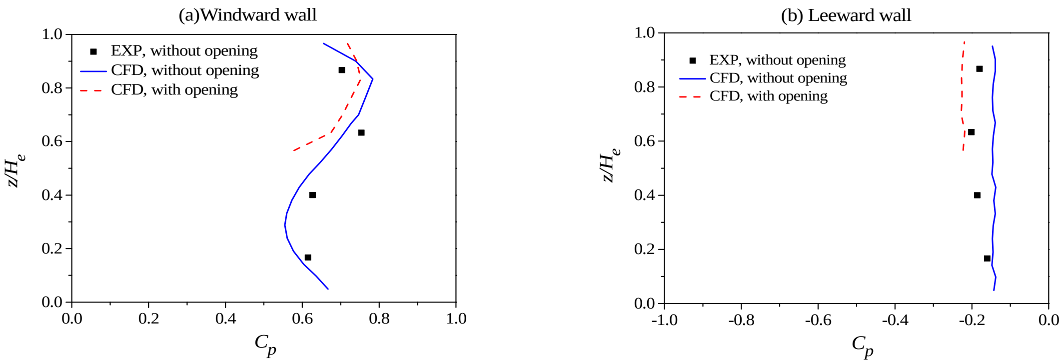


圖 4.單棟溫室外牆風壓係數比較圖(a)迎風面牆；(b)背風面牆

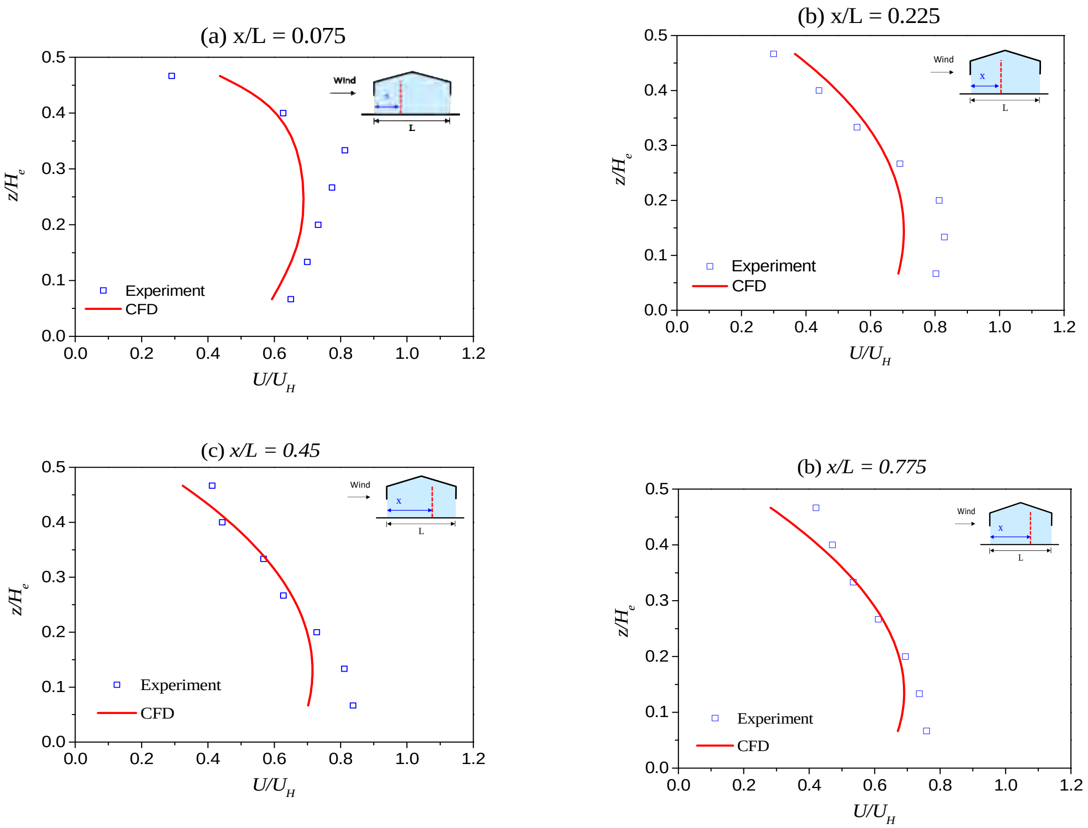


圖 5.單棟溫室內部風速(a) x/L = 0.08; (b) x/L = 0.23; (c) x/L = 0.45; (d) x/L = 0.78

圖6為單棟山形屋頂溫室內部放置縮尺植物模型，用影像處理的方式可量測得單排作物的孔隙率n = 0.37，雙排作物的孔隙率n = 0.187，三排作物的孔隙率n = 0.126。圖7比較在風向角 = 0^o時，CFD預測與風洞實驗量測之單棟溫室中心平面上(x/L = 0.65, 0.775)處風速，比較之後發現當係數$\alpha = 50$，$\beta = 0.02$最接近實驗結果。圖8為CFD預測之溫室內有單排、雙排作物中心平面上風速向量圖，由圖中可看出：作物後方的

風速變小，雙排作物減弱風速的效果尤其明顯。

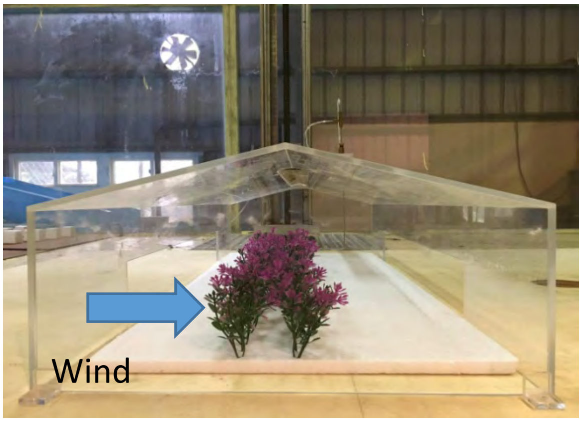


圖 6. 山形屋頂溫室內放置縮尺植物模型

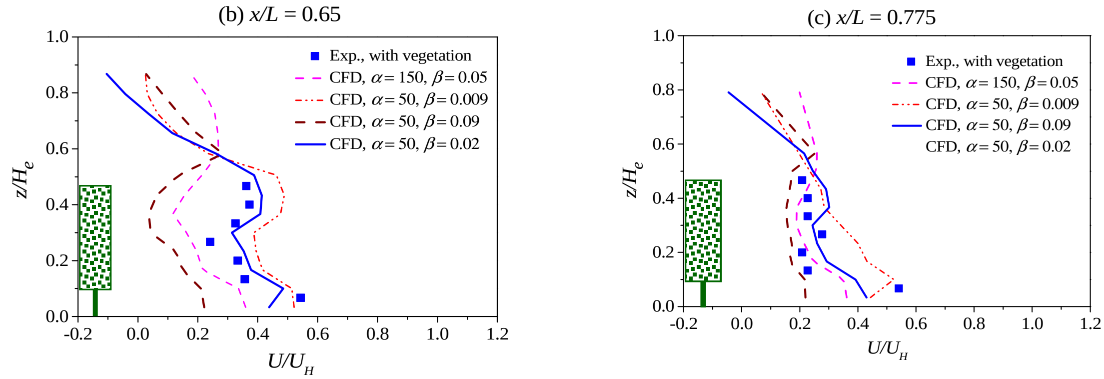


圖 7. 數值模式與實驗之開口中心線上水平向風速比較圖

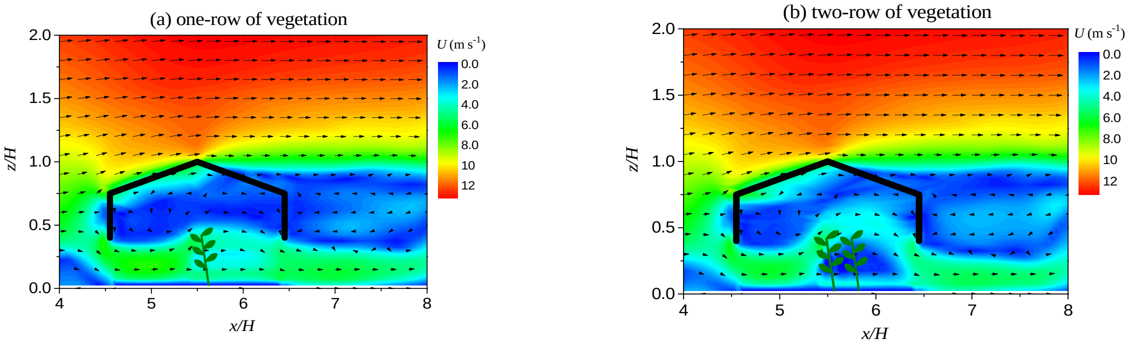


圖 8. 單棟山形溫室中心平面上風速向量圖(a)單排作物；(b)雙排作物

圖9為由CFD模式結果計算溫室內單排、雙排及三排作物的通風量Q，作物的排數愈多，孔隙率愈小，阻滯效果愈大，溫室通風量愈小，室內有三排作物的通風量為空

溫室通風量Q_o的60%。圖10為單棟溫室開口裝有防蟲網的室內風速，防蟲網後方的室內風速皆小於無防蟲網之風速，網目數目愈大，風速愈小。圖11為CFD模式預測之雙棟及三連棟溫室中心平面上的風速向量圖，圖12為連棟空溫室開口處的通風量Q，溫室縱深*L*/*H*愈長，通風量Q愈小。

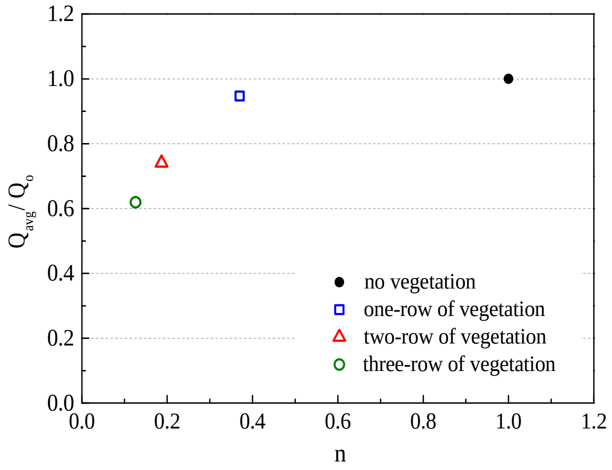


圖 9.溫室內單排、雙排及三排作物的通風量

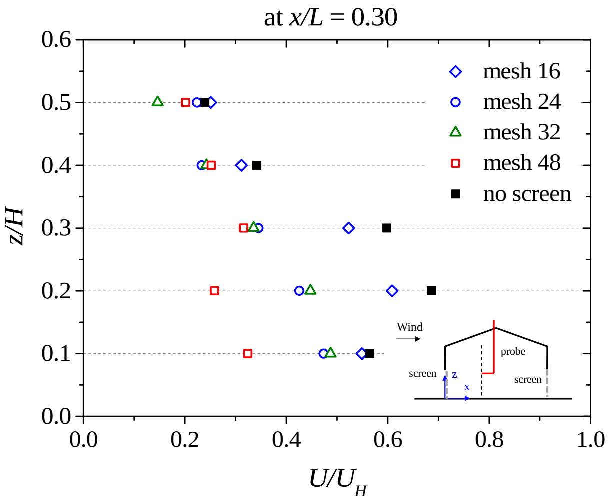


圖 10.單棟溫室開口有防蟲網的室內風速

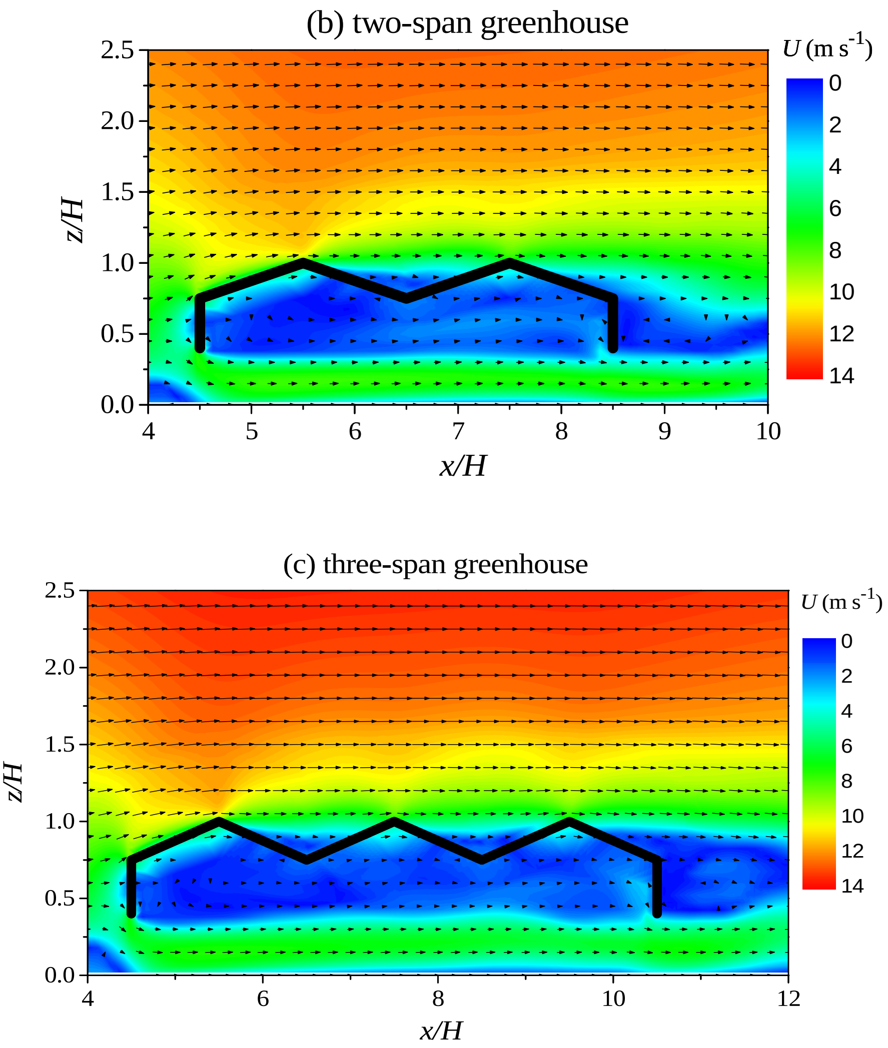


圖 11.雙棟及三連棟溫室中心平面上的風速向量

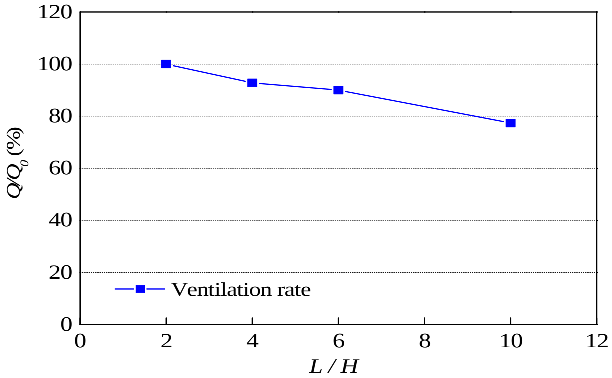


圖 12.連棟空溫室的通風量

五、結論

臺灣地處熱帶與亞熱帶之間，夏季炎熱，因太陽輻射的緣故，農業設施內部氣溫高於室外氣溫，不利於作物的生長。因此，溫室設計者及使用者必須了解如何利用自然界的風力來降低溫室內部的溫度。本研究採用計算流體動力學CFD模式與風洞實驗研究山形屋頂溫室的風壓通風，並使用孔隙阻力模式模擬溫室內部作物對風壓通風之影響，然而孔隙阻力模式中的係數必須藉由風洞實驗量得之風速校驗。研究結果顯示：風壓隨著溫室外型而變，不隨室內是否有作物而變。作物的排數愈多，孔隙率愈小，阻滯效果愈大，溫室通風量愈小，室內有三排作物的通風量為空溫室通風量Q_o的60%。同樣地，溫室開口裝有防蟲網後，室內風速減弱，通風量變小。而縱深長的溫室，因為室內的摩擦阻力，通風量小於縱深短的建築物。

六、參考文獻

1. 朱佳仁 (2006) *風工程概論*，科技圖書出版公司印行。
2. Bournet, P.-E. & T. Boulard. 2010. Effect of ventilator configuration on the distributed climate of greenhouses: A review of experimental and CFD studies. Computers and Electronics in Agriculture 74, 195-217.
3. Majdoubi, H.,T. Boulard, H. Fatnassi,& L. Bouirden. 2009. Airflow and microclimate patterns in a one-hectare Canary type greenhouse: An experimental and CFD assisted study, Agri. and Forest Meteorology, 149, 1050–1062.
4. Norton,T., D.W. Sun, J. Grant, R. Fallon, & V. Dodd. 2007. Applications of computational fluid dynamics CFD in the modeling and design of ventilation systems in the agricultural industrial: A review. Bioresource Technology 98, 2386-2414.
5. Reichrath,S. & T.W. Davies. 2002. Using CFD to model the internal climate of greenhouses: past, present and future. Agronomie 22, 3-19.
6. Von Zabeltitz, C. 2011. Integrated Greenhouse System for Mild Climate: Climate Conditions, Design, Construction, Maintenance and Climate Control. Springer-Verlag, Berlin.

單斜式溫室表面風壓之風洞試驗與數值模擬

朱佳仁、藍廷維、蔡仁凱
國立中央大學土木工程學系

一、摘要

本研究利用風洞實驗及計算流體動力學模式研究單斜式溫室的表面風壓，以作為溫室結構耐風及通風設計之用。數值模式模擬之結果十分接近風洞實驗量測之風壓係數。且研究結果顯示：溫室迎風面風壓不受溫室縱深的影響，但縱深短的單棟溫室背風面的負風壓較長縱深的連棟溫室背風面的負風壓大，且連棟溫室屋頂的最大負壓發生於的第二棟溫室屋頂處，風向為180度時屋頂的負風壓大於風向為0度時屋頂的負風壓，設計溫室結構的抗風強度時必須注意其風壓係數之變化。

關鍵字：單斜式溫室，表面風壓，計算流體動力學模式，風洞實驗

二、前言

臺灣地處西太平洋颱風區，風災頻繁，農業設施常受颱風之強風吹襲而損壞。因此設計農業設施，必須考量溫室結構所承受的風壓分布以及風力負載。但溫室外部的風壓力隨著溫室外型、風速、風向而有所不同，往往需要藉由風洞實驗量測而得。此外，溫室的通風可藉由室內、室外的壓差造成空氣的流動，進而影響溫室內部的溫度、濕度分布。因此溫室的環境控制中，通風的控制為其中重要的一項。換言之，溫室與風相關的問題有兩類，第一為溫室結構設計時，需要知道強風來襲時溫室的風力負載；第二類為平時，以自然風場的風力，造成溫室的通風，有利於作物的生長。這兩類的問題皆需要瞭解溫室內外的風場，而溫室風場、熱量及質量的傳輸現象的研究可採用現地量測、風洞實驗和計算流體動力學模式等方式，各有其優缺點，以下分述之。

若針對一棟真實的溫室在現地監測其內外的氣候狀況是瞭解溫室微氣候最直接的方式，所獲得量測數據是最具說服力，故以往大多數的溫室實驗都是在現地進行。但現地量測的缺點是會影響溫室氣候條件的因素太多，譬如風速、風向、輻射、氣溫、濕度等氣象參數與時俱變，需要在溫室內外多點設置儀器同時且長時間監測，因此需要的經費較高。且其結果隨著溫室的型式及開口而不同。換言之，影響溫室氣候狀況的因素太複雜，往往不易由現地監測數據深入瞭解溫室微氣候的主要機制及關鍵參數。

計算流體動力學(Computational Fluid Dynamics, CFD)模式乃是將計算域內的空間格網化，依據連續方程式(Continuity eqn.)、那維爾–史托克(Navier-Stokes eqns.)方程式、熱傳方程式(Heat transfer eqn.)及擴散方程式(Diffusion eqn.)，配合適當的邊界和初始條件，利用數值方法計算各個網格點上的風速、溫度、濕度及其他物質的濃度等。此法的優點為可以計算出整個流場的細部變化，且所需經費低於現地監測與風洞實驗，因此廣泛應用於各種風場問題。

但CFD的缺點為模式複雜，且計算量大，需要大量的計算資源(電腦容量、記憶空間)。且模式的計算結果會受到數值模式的設定的影響，譬如紊流模式、模式參數計算範圍、網格大小、邊界和初始條件、收斂標準等因素。若設定參數不正確，往往得到似是而非的模擬結果，因此計算結果必須與相同流況之實驗數據嚴謹地比對，以確保CFD計算結果的正確性，方能應用於各種溫室內外風場之模擬(Tominaga et al., 2008; Chu et al., 2017)。國外已有許多個應用計算流體動力學(CFD)模式計算溫室通風的研究，譬如Reichrath& Davies (2002)，Norton et al. (2007)及Bournet&Boulard (2010)等完整地回顧了應用CFD於溫室微氣候的研究之相關論文。

風洞實驗的優點是控制性佳，可重複性高，可以在風洞實驗室內，針對特定的溫室建築，製作縮尺模型，在恆定的風速、風向下，控制流場參數來進行一系列的實驗，以瞭解來流場參數對溫室風壓、通風量的影響，做學理上的探討(Chu et al., 2009)。且儀器設備量測較精準，因此量測得之數據可供數值驗證之用。但風洞實驗的缺點是儀器設備較昂貴，並非每個大學、研究單位皆有。

三、材料與方法

本研究利用中央大學土木工程系的大型環境風洞(見圖1)來研究溫室內外的風場，此風洞全長30 m，試驗段長18.5 m，寬3.05 m，高2.1 m，最高風速可達20 m/s。溫室模型以透明的壓克力板製成，模型縮尺比 1:20，高度0.20 m，寬度1.0 m，深0.40 m，如圖2所示。同一外型的溫室模型共三個，一個無開口(密閉)模型，溫室模型表面設有壓力孔，可量外牆風壓。兩個有開口模型，可量測室內風速。三個模型可分開使用，量測單棟之風速、風壓；亦可併在一起量測二連棟或三連棟之風速、風壓。模型放置於風洞試驗段的轉盤上，可轉動轉盤模擬不同風向角度下的狀況。

本研究利用風洞實驗探討溫室的表面風壓與室內外風場，模型前方的試驗段鋪設粗糙元、渦流產生器及阻牆以加速邊界層流之發展。量測方法採用皮托管來量測遠離建築物處的參考風速，使用定溫式熱線流速儀(IFA300, TSI Inc.)和二維X-type探針量測量測風洞內的紊流風速，使用一台多頻道高頻率電子壓力掃瞄計(ZOC33/64PX, Scanivalve Inc.)量測建築物的表面風壓。實驗時，壓力模組放入建築物模型內部，壓

力管線是由內徑1.0 mm PVC管連接模型量測點至壓力模組上的壓力輸入埠，壓力模組再接入電子式壓力掃瞄器。

量測得之溫室表面壓力可計算無因次之壓力係數(Pressure coefficient)：

$$C_p = \frac{\overline{P} - P_o}{0.5\rho U_H^2} \quad (1)$$

式中 $\overline{P}$ 為模型表面的時間平均壓力，P_o為參考壓力，U_H為屋頂高度處的風速，ρ為空氣密度。

圖 1.中央大學環境風洞之影像圖

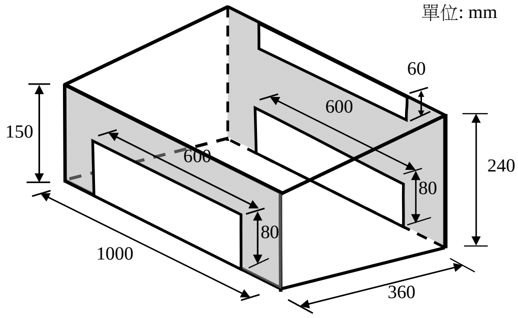


圖2.單斜式溫室之影像圖與示意圖

四、結果與討論

地表的風場屬於邊界層流，故風洞實驗中溫室前方的來流流場必須接近真實的風場。圖3為風洞內來流的時間平均風速及紊流強度剖面，邊界層厚度= 1.55 m，指數n= 0.20。在模型屋頂(H = 0.24 m)處的風速U_H = 7.2 m/s，紊流強度I_u = 21.8%、I_w = 12.0%，顯示入流流況為紊流邊界層流。

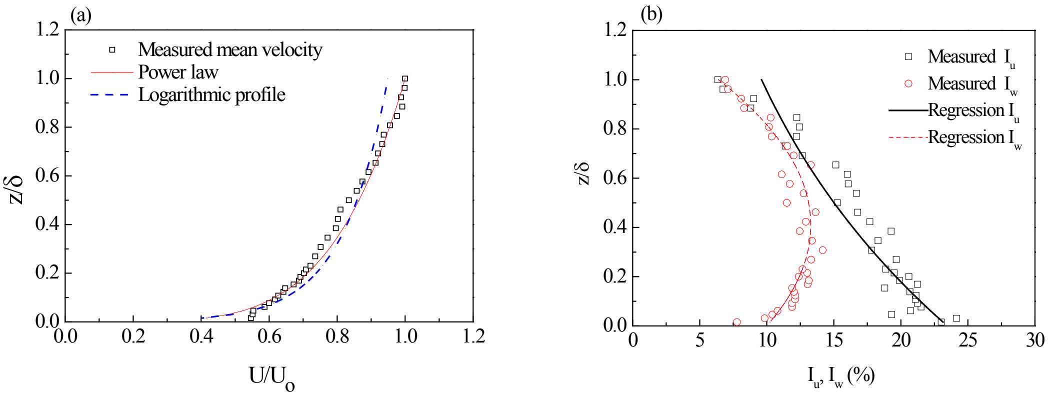


圖 3.風洞中邊界層流之垂向剖面圖(a)時間平均風速；(b)紊流強度

單棟單斜式溫室計算網格如圖4所示，最小網格集中於溫室周圍之區域，遠離溫室之處計算網格逐漸變大。圖5為在風向角 = 0^{o}(風向垂直於屋脊)，單棟溫室內部中心線的水平向風速剖面圖，此圖顯示CFD模式預測與實驗結果相近，但接近地面處風速CFD預測略小於實驗結果。圖6為在風向角 = 0°單棟單斜式溫室中心線上外牆及屋頂的時間平均風壓係數，由此圖可看出迎風面牆的風壓為正壓，風壓係數C_p介於0.40 ~ 0.70之間；迎風面屋頂的風壓係數為負值，風壓係數介於C_p= -0.10 ~ -0.50之間；背風面牆的風壓係數亦為負值，風壓係數介於-0.40 ~ -0.50之間。除了迎風面牆CFD預測之風壓略大於實驗結果，迎風面屋頂以及背風面牆風壓預測結果均與實驗結果相近。

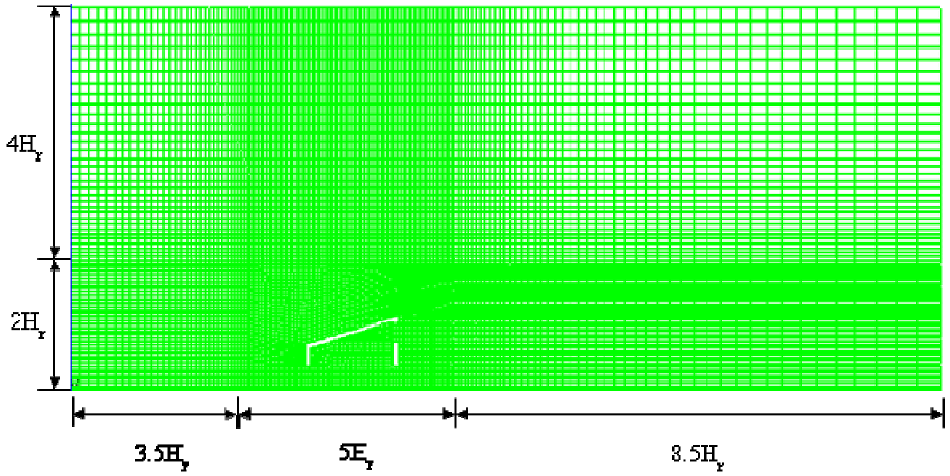


圖 4.單斜式屋頂溫室計算網格之側視圖

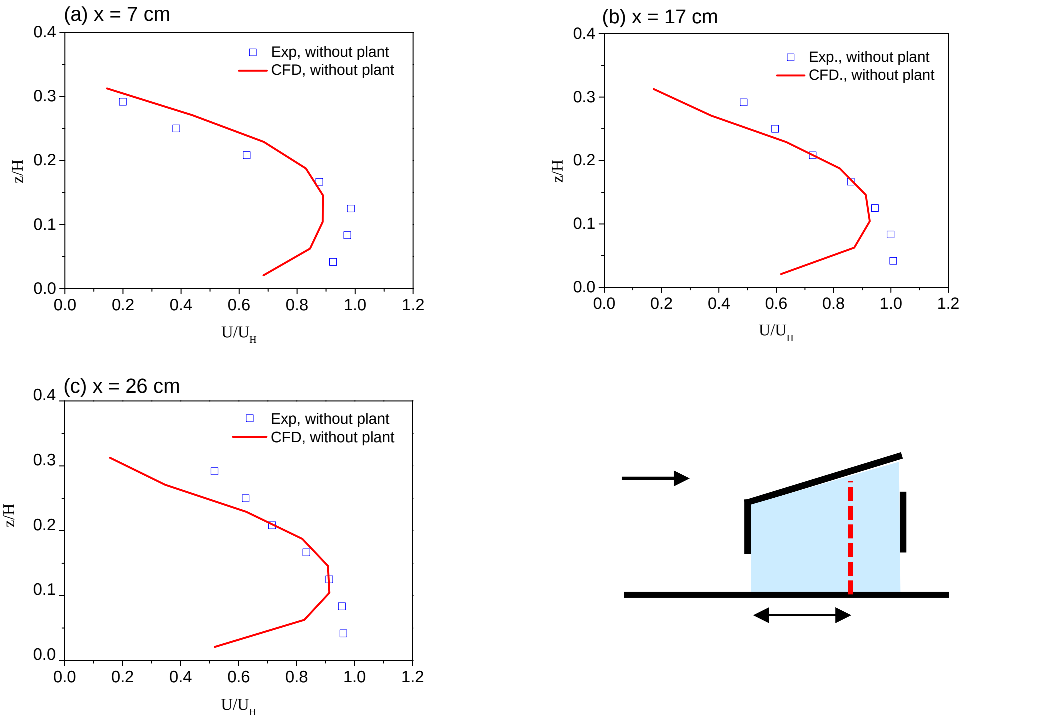


圖5.單棟單斜溫室在風向角= 0^o溫室內部風速剖面 (a) x = 7 cm；(b) x = 17 cm；(c) x = 26 cm.

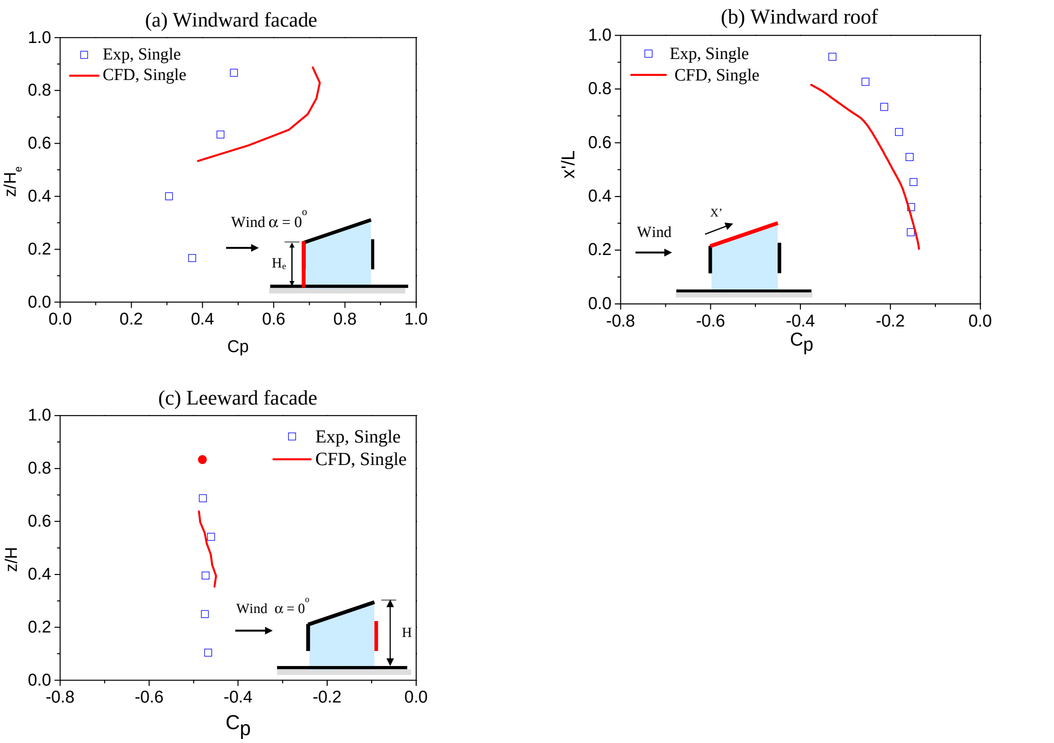


圖 6. 風向角= 0° 單棟單斜式溫室中心線上牆面與屋頂的時間平均風壓係數 (a)迎風面牆；(b)迎風面屋頂；(c)背風面牆

圖7為在風向角 = 0°和180^{o}雙棟單斜式溫室屋頂的時間平均風壓係數，由此圖可看出：風向角180^{o}溫室屋頂的風壓係數屋頂的負值大於風向角0^{o}溫室屋頂的風壓係數。且數值模式預測結果與實驗結果相近。圖8單斜式溫室中心線上時間平均風壓係數分佈，風向角0^{o}時迎風面第二棟溫室屋頂負風壓大於第一棟與第三棟的負風壓，且三連棟溫室，在風向角180^{o}時的負壓力大於風向角0^{o}時負壓力，設計溫室結構的抗風強度時必須注意其風壓係數之變化。

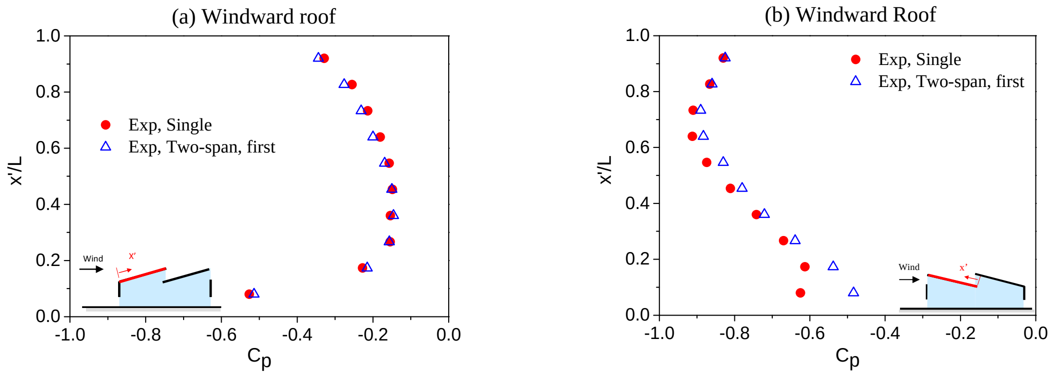


圖 7. 雙棟單斜式溫室中心線上迎風面屋頂的時間平均風壓係數
(a)風向角 = 0°；(b)風向 = 180°

五、結論

臺灣地處西太平洋颱風區，風災頻繁，農業設施常受颱風之強風吹襲而損壞，因此在設計農業設施、溫室的結構強度時必須考量其風力負載。而溫室的通風往往會影響溫室內部的溫度、濕度以及作物的生長。本論文採用計算流體動力學CFD模式與風洞實驗來探討連棟單斜式溫室的表面風壓，結果顯示：CFD與風洞實驗所得之溫室內部風速、外部風壓皆十分相近。且溫室表面風壓隨著溫室外型、風向而變。研究成果亦發現：迎風面壓力值與溫室長度無關，但單棟、短縱深溫室背風面的負風壓較長縱深的多跨度、連棟溫室背風面的負風壓大，且連棟溫室屋頂的最大負壓發生於的迎風面第二棟溫室屋頂處，風向角為 =180度時屋頂的負風壓大於風向角為0度時屋頂的負風壓，設計溫室結構的抗風強度時必須注意其風壓係數之變化。

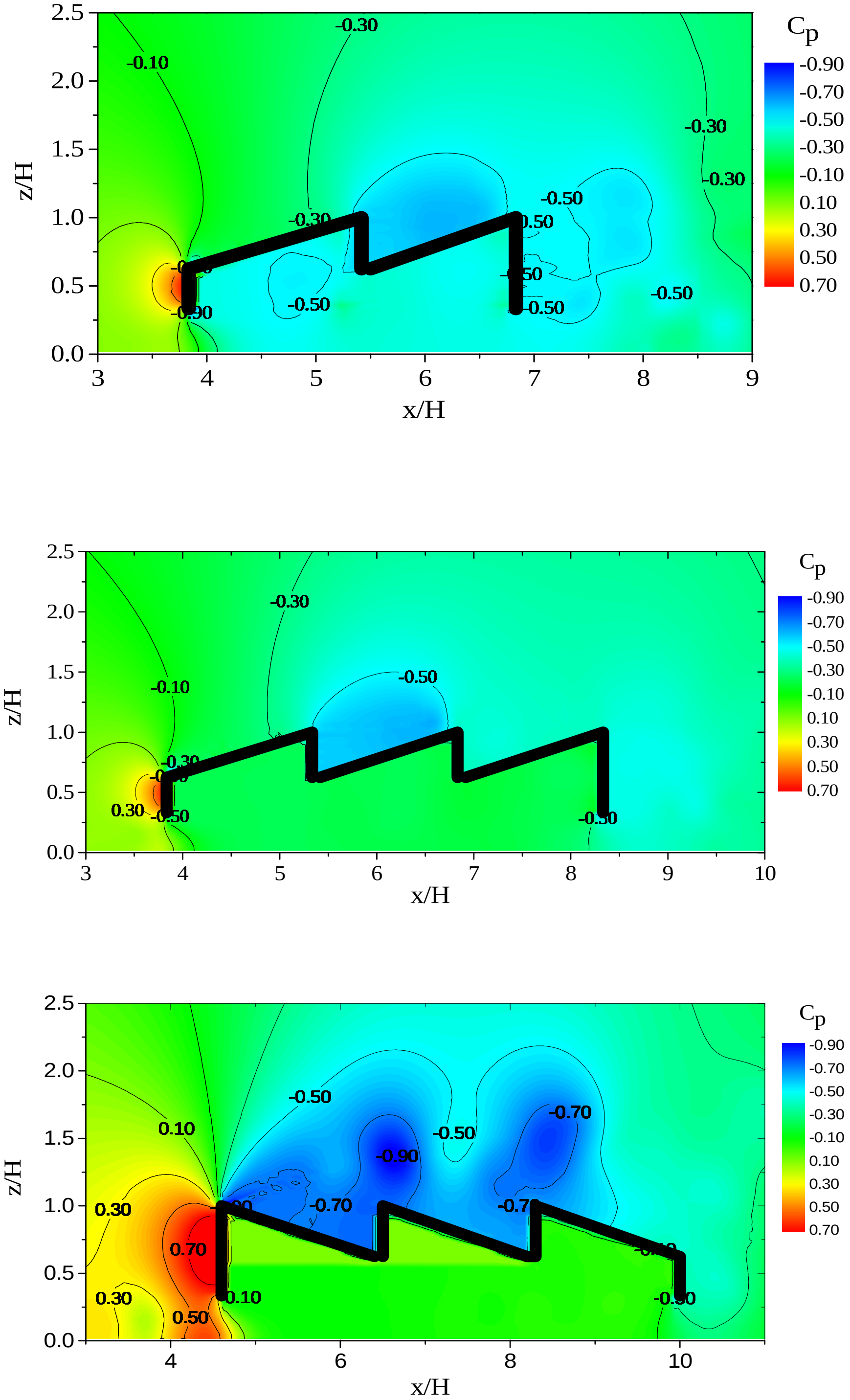


圖 8.單斜式溫室中心線上時間平均風壓係數分佈圖
(a)雙棟風向角 0°；(b)三連棟風向角 0°；(c)三連棟風向角 180°

六、參考文獻

1. Bournet, P.-E. and T. Boulard. 2010. Effect of ventilator configuration on the distributed climate of greenhouses: A review of experimental and CFD studies. Computers and Electronics in Agriculture 74, 195-217.
2. Chu, C.-R. Chiu Y.-H., Chen Y.-J., Wang Y.-W., C.-P.Chou. 2009. Turbulence effects on the discharge coefficient and mean flow rate of wind-driven cross ventilation. Building and Environment 44, 2064-2072.
3. Chu, C.-R., & Chiang, B.-F. 2013. Wind-driven cross ventilation with internal obstacles. Energy and Buildings, 67, 201-209.
4. Chu, C.-R., Lan, T.W.,Tasi, R.K.,Wu, T.R., C.K.Yang. 2017. Wind-driven natural ventilation of greenhouses with vegetation, Biosystem Engineering, In press.
5. Norton,T., Sun, D.W., Grant, J. Fallon, R., and V. Dodd. 2007. Applications of computational fluid dynamics CFD in the modeling and design of ventilation systems in the agricultural industrial: A review. Bioresource Technology 98, 2386-2414.
6. Reichrath,S. and T.W. Davies. 2002. Using CFD to model the internal climate of greenhouses: past, present and future. Agronomie 22, 3-19.
7. Tominaga, Y., Mochida, A., Yoshie, R., Kataoka, H., Nozu, T., Masaru, Y., T. Shirasawa. 2008. AIJ guidelines for practical applications of CFD to pedestrian wind environment around buildings. J Wind EngIndAerodyn. 96, 1749-1761.

溫室設計圖面建構與數值模擬分析應用

黃國祥*、陳俊仁*、李易樺**
*農業試驗所農業工程組助理研究員
**農業試驗所農業工程組研究助理

一、摘要

台灣位處於亞熱帶，夏季經常有颱風侵襲，冬季則有東北季風影響，近年來由於全球暖化與氣候變遷，致使強風與豪雨對作物栽培的威脅愈來越嚴重，故國內應用溫室進行農業生產將為未來趨勢。本研究調查並彙整國內溫室常用種類、型式，並以國內大量使用的溫室中，選擇具發展潛力的溫室型態，進行溫室標準圖面更新與數值模擬方法之建立。整合跨領域研究團隊的過程中，目前已完成簡易溫室之標準圖樣草案，並繪製簡易溫室之詳細圖，提供農民選用準則，為爾後本土溫室產業發展及主管機關訂定標準圖樣之參考。另外運用計算流體力學與結構力學之流固耦合模擬方法，建構溫室外部風場與結構強度的模擬分析流程，並以縮尺模型的風洞試驗來驗證數值模擬結果是否合理，也藉由數值化模擬分析技術的建立，進而對溫室結構接合元件、內部桁架與外部結構強化進行研究改良，初擬簡易溫室設計規範與資材標準化等資訊，協助提升簡易溫室的設計能力與製造技術。

關鍵詞：溫室結構、流固耦合分析、結構元件

二、前言

台灣現有簡易溫室結構型式多樣且水準參差不齊，製造承作業者搭建溫室皆以經驗法則來選用材料以及慣用工法來施作，並未對於溫室結構之抗風性或變形量進行學理探討與原則設計。而簡易溫室大量被使用於國內各蔬果產地，每當颱風季節到來，往往造成搭建不良之溫室產生損壞，應該具有保護作物功用的溫室，反而造成農民的更大的負擔。故本研究應透過對溫室結構與的適當設計與改善，減少溫室遭遇強風所產生的危害。因此研究中包含抗風型結構溫室設計及標準圖繪製，溫室外流場模擬與結構接合元件改良設計之建立，應用數值模擬分析技術建立溫室外部流場與結構強度之最佳化設計、結構接合元件受力分析及資材標準化等內容。

玉城麿(2011)針對西南島嶼的園藝設施於颱風後的損害進行調查，並分成四種損壞情形(1)混凝土基礎破裂(2)立柱底部破裂(3)主樑斷裂或鬆動(4)焊接區斷裂；為防止樑變形提出鋼繩加固的方法，並利用桁架結構分散整體結構受力[1]。森山英樹(2008)針對關東地區的北部沿岸農業設施於颱風後的損害調查，強風造成的破壞在於迎風面之拱架變形與基礎破壞後的向上拉拔力[2]。豐田裕道、森山英樹等人(1998)研究園藝

溫室耐風設計於風災後的調查狀況，結果顯示園藝設施抗風設計需考量骨架結構接合外，亦需考慮批覆材的強度，同時基礎部件的接合由於接近地面，防銹作業亦需注意[3]。張、黃等人(2016)調查台灣溫室遭受颱風侵襲後農業設施損害情況，其破壞可分為披覆材破損之輕度損害與結構彎曲斷裂為重度損害，另分析損壞成因，可發現由管材等接合元件破壞案例較多[4]。張(2013)以建築物耐風設計規範及有限元素分析軟體，進行溫室內部桁架結構耐風能力模擬分析[5]。Yukio Tamura和 Akira Katsumurae(2012)針對等效靜態風荷載(ESWL)的分佈進行研究，並討論ESWL的基本要素與必要條件，比較不同屋頂類型的最大荷載效應[6]。Yasushi Uematsu、Fumio Arakatsu 等人(2009)應用風洞驗證雙曲拋物面屋頂之風壓係數，根據風力與力矩的關係，提出了主抗風力系統的風壓係數，其中假設屋頂為剛性，其軸向力為風荷載的主要負荷效應[7]。喻萌(2007)應用有限元分析軟體 ANSYS 對輸流管在不同約束條件下進行流固耦合模擬計算，得到輸流管壁負載時之徑向位移、應力與支點反作用力等數值，可應用於管道系統的最佳化設計[8]。陳、朱等人(2014)為驗證複合材料螺旋槳流固耦合算法之正確性，應用 ANSYS/CFX 針對螺旋槳建立流體與結構模型，實現雙向流固耦合穩態求解，結果顯示數值計算符合試驗數據[9]。朱、林等人(2016)使用風洞實驗研究半圓形隧道式溫室的風力負載，研究結果發現最大風壓皆發生於溫室頂部，且其風壓係數符合建築物耐風設計規範及解說所建議之風壓係數[10]。

三、 各項成果說明

3.1 建立設施結構標準圖與元件資料

蒐集並試驗常用之市售結構鋞管規格尺寸(表 1)，及建立簡易設施拱架主柱之規格代號表，參考國內外法規以及溫室結構相關資料，以 3D 繪圖軟體繪製溫室主體結構、內部桁架與外部強化結構，並通過土木結構技師檢核，檢核內容依照建築技術規則、建築物耐風設計規範等標準進行結構計算，爾後完成簡易溫室結構暨施工參考圖(圖 1)，提供農委會相關單位公告此參考圖，協助農政單位輔導農民搭建改良設計之溫室。新設計之 U 型鋞管圓屋頂溫室於抗風級數 11 級風下，可減少成本約 5%，並提升抗風力約 4%。反之若增加 10%成本，則可提升至抗 15 級之颱風。

本研究除進行整體溫室的流場與結構分析外，另將結構接合元件部份分為桿件與桿件之間的接合，以及披覆材料與桿件之接合這二類來探討。在桿件與桿件間接合部份，以彈簧夾固定鋞管之夾持力進行拉力實測，探討其受拉力與位移量之相關性，作為改善簡易溫室結構耐風強度參考。本研究建構一拉力試驗平台以實際量測彈簧夾固定於鋞管上的夾持力，量測數據顯示彈簧夾短桿與長桿對鋞管的平均最大夾持力分別為 10.93kg、7.18kg；若彈簧夾處於未固定鋞管之無負載狀態下進行夾持力量測，彈簧夾短桿與長桿對鋞管的平均最大夾持力分別為 8.34kg、2.67kg。另外以相同之固定條件進行 1kg 至 20kg 拉力與位移之間的關係，當拉力未超過最大夾持力前，短桿與長桿承受拉力之平均位移量分別為 0.066mm/kg、0.101mm/kg；拉力超過最大夾持力後，短桿與長桿的平均位移量則為 0.919mm/kg、2.191mm/kg，此數值變化與彈簧夾

的彈簧剛度(k)有關，在固定位移下 k 值越大的彈簧，其拉力或推力的力量會越強，因此當彈簧夾受拉力超過最大夾持力時，將使短桿與長桿之 k 值皆大幅下降約 49%。試驗結果顯示彈簧夾長桿受力超過 7kg 時產生位移，超過 12kg 後長桿將脫離鋞管，當長桿脫離鋞管後，短桿對鋞管的夾持力也隨之下降，後續將造成彈簧夾固定失效，進而破壞整體結構的穩固性。另外披覆材料與結構接合之分析建立在接合元件足夠強之假設條件下，先建立簡化之模型，參考”建築物耐風設計規範與解說”設定溫室各牆面的承載風壓，並將受力藉由擠壓干涉傳遞至結構桿件之狀態分析，而結構承載之受(應)力分布更可進一步作為接合元件機械強度分析時之設定，並協助接合元件開發設計之條件。

表 1. 結構鋞管規格尺寸

構件	尺寸(mm)	降伏抗拉強度 (kgf/cm^2)	E(kgf/cm^2)	單位重(tf/m^3)
鋞管骨架	鋼管外徑 48.6、厚度 1.8	3500	2040	7.85
脊樑主管	鋼管外徑 21.2、厚度 1.5	3500	2040	7.85
桁條直管	鋼管外徑 21.2、厚度 1.5	3500	2040	7.85
山牆面管	鋼管外徑 48.6、厚度 1.8	3500	2040	7.85
山牆面兩側主管	鋼管外徑 75.6、厚度 2.3	3500	2040	7.85

表格來源：UP-540 簡易溫室結構計算書

圖 1. 簡易溫室結構參考圖

3.2 應用流固耦合技術於設施抗風結構分析

本研究將應用流固耦合(Fluent Structure Interaction, FSI)分析來探討外部流場對溫室結構之影響。本結構強度分析建立在接合元件足夠強之假設條件下，應用有限元素分析軟體模擬自由流風之溫室外部流場，並以受風影響之溫室表面風壓傳遞至結構桿件的狀態分析，並將模擬風壓值與”建築物耐風設計規範”進行比較分析，確認模擬結果尚符合規範之標準。模擬結果顯示，除屋頂中央區外，其餘牆面的風壓值皆小

於規範值，建築規範之拱形屋頂風壓值略低於模擬值約17%，背風面則因渦流產生而流速降低並提高壓力(圖2)；溫室結構強度分析於最大風級數13級風時，其最大位移在迎風面屋頂中央區達91.6mm，其次為右側山牆面位移達70.1mm，整體結構在中央拱架底部有最大應力值656MPa，屋頂結構接合處約有219MPa至260MPa的應力集中(圖3)。本研究運用流固耦合分析之有限元素數值模擬方法，模擬溫室外部流場、表面風壓與結構位移趨勢及應力分布狀況，藉由發展溫室抗風結構的數值化模擬分析技術，確立簡易溫室數值化模型設計參數原則，達成快速分析簡易溫室結構抗風強度之目的。

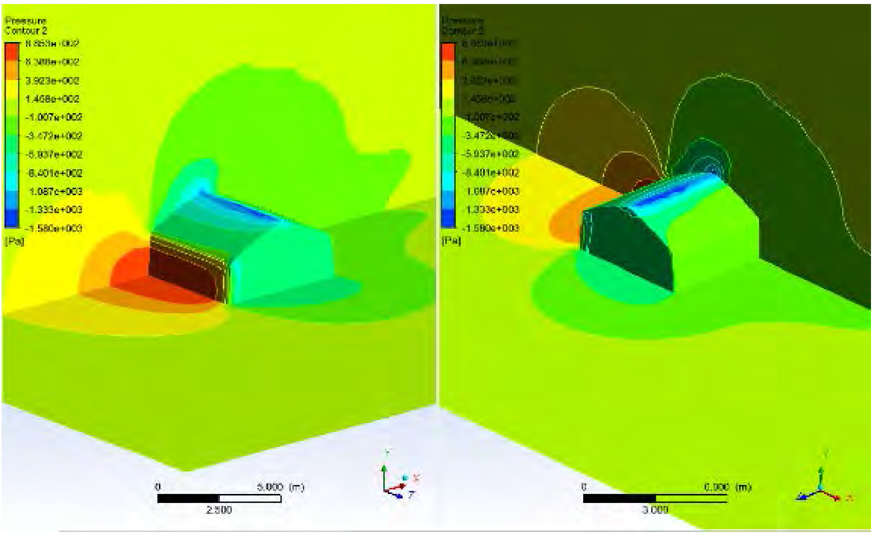


圖 2. 表面壓力分布與流場速度分布(溫室流場)

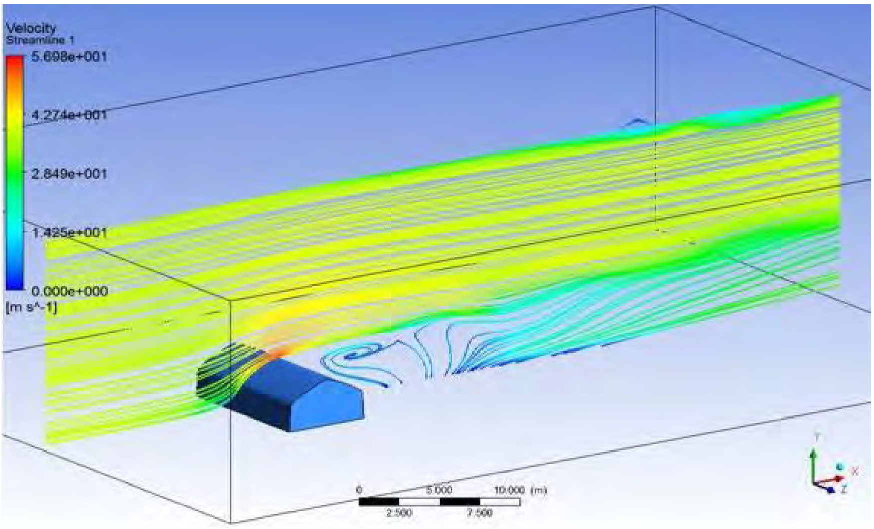


圖 3. 結構位移量分布與結構應力值分布(溫室結構)

3.3 分析風災設施破壞原因並撰擬輔導文件

針對颱風造成國內中南部及東部溫網室造成重大損失，蒐集分析受損原因，並蒐集國內設施形式及搭建工法資料，撰寫設施防災防熱文件、設施搭建施工注意事項。

產業服務方面為：

(1)配合設施服務團任務完成26件重建設施圖面檢視。

(2)提供農政單位設施搭建注意事項文件、搭建業者名單。

(3)參與設施搭建課程授課。

(4)委辦簡易設施結構計算。

產業效益方面為：

(1) 簡易式溫室結構快速結構分析方法與外流場受力分析方法。

(2) 接合元件型式調查與相關試驗，為材料與組件標準化之基礎。

(3) 建立施工注意事項供農民參用，提升設施搭建品質。

四、結論

溫室設計建造時，需考慮因地制宜的格局方位分布設計、結構設計、構件材料、基礎設施、搬運組裝、構件連結、使用維護等要項，相關之影響環節眾多，依據學理分析及實測驗證加以歸納統整，可以減少不確定因素，降低溫室損毀的風險及機率。本研究將設施結構、設施使用金屬材料、設施內外風場之問題進行研究與試驗，並建立電腦輔助設計與模擬方法，研發能量已大幅提升，而風洞試驗、金屬材料計畫則引進學界能量進入農業設施研究，所以本研究團隊為 105 年成立之設施技術服務團成員，已提供設施參考圖、設施搭建注意事項等政策之參用文件，後續更將應用所建立之研究能量協助國內農政單位建立設施規範，以輔導設施業者技術升級並減少設施風災損壞之現象。

五、參考文獻

1. 玉城磨。2011。西南諸島園藝設施因應颱風對策之研究。博士論文。日本琉球大學大學院理工學研究科。
2. 森山英樹。2008。溫室受風害與雪害之設計研究與改良。博士論文。日本筑波大學大學院生命環境科學研究科。
3. 豐田裕道、森山英樹、瀨能誠之、前川孝昭。1998。園藝用塑膠布溫室之特性於風災後案例分析。農業設施學會研討會。29卷1號。
4. 張金元、黃國祥、林建志、徐武煥。2016。溫室管夾結構分析之研究。2016農機與生機學術研討會。
5. 張金元。2013。應用耐風設計規範分析簡易設施結構之研究。102年度農業工程與

自動化計畫成果研討會論文集。P.20-P.25。

6. Yukio Tamura, Akira Katsumurae. (2012). Universal equivalent static wind load for structures. The Seventh International Colloquium on Bluff Body Aerodynamics and Applications. Shanghai, China. September 2-6.
7. Yasushi Uematsu1, Fumio Arakatsu, Satoru Matsumotoand Fumiyoshi Takeda. (2009). Wind force coefficients for the design of a hyperbolic paraboloid free roof. The Seventh Asia-Pacific Conference on Wind Engineering. Taipei, Taiwan November 8-12.
8. 喻萌。2007。基於ANSYS的輸流管道流固耦合特性分析。中國艦船研究。2(5)：54-57,67。
9. 陳悅、朱錫、周振龍。2014。考慮鋪層的複合材料螺旋槳流固耦合計算及驗證。船海工程。43(2)：57-61。
10. 朱佳仁、林坦誼、楊智凱、劉明怡。2016。半圓柱形溫室風壓係數之實驗研究。農業工程學報。62(3)：63-73。

設施蘆筍省工管理及節水栽培模式建立

謝明憲*、陳水心*、郭明池、林經偉**、鍾瑞永**

* 臺南區農業改良場義竹工作站

** 臺南區農業改良場作物環境課

一、摘要

蘆筍為高經濟價值作物，設施蘆筍生產不僅可穩定生產，且有提升產量及品質效益，也具高收益潛力。但因欠缺有經驗技術之勞工及最適化灌溉管理技術為設施蘆筍之主要生產困境，因此迫切需要導入省工作業機具及節水灌溉等技術，以提升產品品質及良品率。歷經2年試驗，研究成果計有導入土壤EC值及水分感測器應用，依據蘆筍不同生育期，建立最適水養分供給模式。設施蘆筍應用穩定養液之嫩莖產量及鮮嫩度品質穩定性均顯著高於溝灌組，且滴灌需水量低於50%溝灌用水量。導入綠籬機+背負型圓盤鋸齒式割草機割除母莖，再應用經修改刀具之碎枝機就地碎化母莖，作業效率較人工處理組分別提升2.5及20倍以上，推廣應用將可解決每年春夏秋三產季前需割除及移除母莖之人力不足問題。

關鍵字：蘆筍、設施、省工、滴灌

二、前言

臺灣蘆筍產業發展從早年以生產白蘆筍及加工製罐供應外銷，罐頭出口量雖在1980年曾佔世界蘆筍罐頭貿易量70%以上(6)。之後為因應全球貿易轉換，已改變生產綠蘆筍供應內銷鮮食。但產業因露天生產易受天候影響、工資上揚及採收難以機械化，生產面積逐年減少，自1997年起均大量進口生鮮綠蘆筍供應國內市場所需，從2001年起至2016年間超過進口總量77%皆從泰國進口供應。惟近十年來泰國蘆筍栽培面積及收穫量逐年劇減，出口至臺灣數量也降低，臺灣也面臨國產蘆筍生產自給率逐年遞減，致使國內綠蘆筍年平均拍賣價格在近5年來逐年劇升。由於市場供給未能滿足消費需求，每年每人平均消費量也逐年降低(9)。

面對國內蘆筍生產量未能滿足消費市場需求量，因此實有必要鼓勵在地生產以取代進口供應，而推廣設施蘆筍栽培為重要策略，有利於因應異常氣候或強降雨天候、降低病蟲危害、穩定品質及提升產量，並可用於建立延長採收期技術，周年穩定供應，提升國內蘆筍消費市場自給率。臺南區農業改場已應用設施生產模式及不留母莖技術以達成產期提前目標，藉由分區接力生產以達成穩定生產目的，結果顯示冬季低溫期以不留母莖管理模式，可提早自1月起採收，全年產量及產值不亞於傳統生產模式。維持留母莖管理之傳統生產模式可延長採收期至每年11月底。證實設施栽培蘆筍結合

應用不留母莖之產期提前及留母莖之傳統生產模式，可達成計11個月之近周年均有蘆筍嫩莖生產供應之目標(10)。

留母莖栽培雖然是臺灣蘆筍產業得以延續的關鍵技術，但不論慣行栽培於春夏秋三季生產，或應用產期調節技術於冬春夏三季生產，每年均需進行三次割除母莖作業(2,3)，且惟需耗費大量人力進行割除作業，此外要將割後母莖移除栽培設施外，更讓生產者難以短間時內完成處理。目前已知在果園小型自走式果樹殘枝粉碎機成功開發，可用於各種果樹殘枝粉碎作業，有助於作物廢棄殘體資源化、合理化利用，也利於粉碎物快速腐化及用於改善土壤理化性質與維護果園清潔(4,5)。

蘆筍蒸散量小，貯藏根系發達，比較耐旱，在短時間內供水不足，雖可利用貯藏根系內的水分維持生命，使筍株不會向其他作物那樣很快的發生萎凋或枯死。但在採筍期假如過於乾旱，將導致嫩莖細弱，生長芽回縮，嚴重減產。由於蘆筍極不耐濕，土壤積水，通氣性差，會嚴重影響根系和磷芽發育，甚至造成根部腐爛而導致植株死亡。此外，蘆筍嫩芽含水量比較多，採收時間比較長，隨著蘆筍嫩莖產量的提高，蘆筍於採筍期間需水量也增多(1)。

設施蘆栽培之水分管理不同於露天栽培，設施內採用傳統溝灌不僅造成設施高溼問題，也阻礙採收作業。利用養液滴灌可為設施蘆筍栽培持續地均勻供水。應用滴灌補充水分，具容易控制給水量優勢，且只要制定出灌溉計畫，滴灌的水量也可容易掌握，有利於提升節水栽培功效(7)。蘆筍栽培以滴灌系統供水及供肥可以同時進行，可以有效地節水、節肥、節省人工，為蘆筍根系提供一個合適的土壤環境，使蘆筍的根系在最適合的環境裡生長，根系發達才能枝葉繁茂。傳統採用大水溝灌既浪費水資源，又不利於蘆筍生長。養液滴灌技術系統可比大水溝灌節約水資源，節約澆水、施肥人工費用(11)。

為建立設施蘆筍省工管理及節水栽培模式，本研究重點計有為建立筍養液滴灌節水栽培管理技術：因蘆筍為多年生且屬需肥量高之作物，應用養液滴灌利於提升施肥效率，有效減少肥料施用量，且可取代傳統溝灌操作，減緩蘆筍地下部根盤上升速率，增加設施蘆筍栽培年限；免除採收期間持續溝灌易引發病害問題，具提升產能效益；避免溝灌導致畦溝泥濘，因而有利田間助操作及提升採收綠蘆筍效率。其次開發設施蘆筍省工化清除母莖技術：基於臺南區農業改良場已建立冬季綠蘆筍生產之產期調節操作，再藉由導入農業機械取代人力執行快速清除母莖作業，更有助於克服人工短缺問題，提升產期調節作業效率。

三、材料與方法

3.1 養液滴灌與傳統溝灌生產嫩莖產量與品質比較：以雲林縣東勢鄉筍農於 104 及 105 年度秋植設施蘆筍分二棟溫室執行滴灌與溝灌等二種灌溉模式試驗比較。分析比較應用養液滴灌之綠蘆筍各期作嫩莖產量、合格品率及脆度。以確保提升設施蘆

筍產量及品質。

3.1.1 處理項目：(1)養液滴灌組：應用土壤濕度感測器，進行灌灌溉時程管理，以維持適度土壤水分張力，並依不同生育期將所需土壤水分張力條件區分為：A.採筍期：**-23～-32 kPa、B.留母莖期：-17～-23 kPa、C.休閒期：-30～-50 kPa。**另應用土壤 EC 感測器，進行養液供給量管理，以維持適度土壤 EC 值，並依不同生育期將所需養液供給量區分為：A.採筍期施用台肥 1 號即溶複合肥為每週 5.5 公斤。B.留母莖期及休閒期施用台肥 43 號即溶複合肥，分別為每週 5 公斤及 4 公斤。(2)傳統溝灌組：灌灌溉時程管理在採筍期及留母莖期為每周溝灌 2 次，並將畦溝分單號與雙號進行輪灌，休閒期每月灌溉 1 次。依合理化施肥推薦，將不同生育期將所需肥料區分為：A.春肥：台肥 1 號複合肥料 80 Kg、B.春季採收肥：尿素 24 Kg、C.夏肥：台肥 1 號複合肥料 50 Kg、D.秋肥：台肥 1 號複合肥料 50 Kg、E 秋採收肥：尿素 25 Kg、F.冬肥：台肥 1 號複合肥料 80 Kg。

3.2.2 試驗調查項目：(1)試驗調查小區尺寸：行距 1.5 公尺，長 66.7 公尺(面積：100 M^2)。(2)採收期間每日調查各試區內嫩莖採收重量及支數，並依合格品(莖粗＞8mm)及格外品(莖粗＜8 mm)二類分開調查，另應用物性測定儀測定切斷嫩莖需咬斷力、數位式糖度計測定可溶性固形物含量(糖度)。

3.2 機械取代人力割除老化母莖效率評估：藉由導入「綠籬機」及「背負型圓盤鋸齒式割草機」分段進行機割除老化母莖為處理組，另以人力持刀進行割除作業為對照組，比較二者之作業效率。

3.2.1 處理項目：(1)輔具割除組：應用「綠籬機」及「背負型圓盤鋸齒式割草機」割除老化母莖。其中「綠籬機」係使用雙刃、重量輕及振動小之機型。「背負型圓盤鋸齒式割草機」具備有「剪刀式刀盤」，作業程序為先用「綠籬機」割除母莖地上部，再用「背負型圓盤鋸齒式割草機」割除露出土表之母莖殘樁。(2)人工割除組：應用鐮刀以人力割除老化母莖。

3.2.2 試驗調查項目：(1)試驗調查小區尺寸：行距 1.5 公尺，長 66.7 公尺(面積：100 M^2)。(2)作業時間紀錄：A.記錄每小區以人工割除老化母莖所需時間，分三重複。B.記錄每小區以「綠籬機」割除老化母莖(地上部 10 公分以上)所需時間，分三重複。C.記錄每小區以「背負型圓盤鋸齒式割草機」割除露出土表之母莖殘樁所需時間，分三重複。

3.3 碎枝機就地碎化老化母莖效率評估：老化母莖被割除後次日，應用已修改刀具之自走式碎枝機進行就地碎化為處理組，另以人力搬移被割取母莖至溫室外之作業為對照組，比較二者之作業效率。

3.3.1 處理項目：(1)就地碎化組：選擇於處理前一日割除之老化母莖進行就地碎化，惟試驗設備係應用現有小型自走式碎枝機，修改其碎枝刀具，以符合畦溝碎枝作業。(2)人工搬移組：應用人力徒手搬移割除後老化母莖至栽培溫室之外部集中處理。

3.3.2 試驗調查項目：(1)試驗調查小區尺寸：行距 1.5 公尺，長 66.7 公尺(面積：100 M^2)。(2)作業時間紀錄：A.記錄每小區以自走式碎枝機就地碎化母莖所需時間，分三重複。B.記錄每小區以人力搬移老化母莖所需時間，分三重複。

四、結果與討論

4.1 養液滴灌與傳統溝灌生產嫩莖產量與品質比較：

4.1.1.**105 年度產量比較**：設施蘆筍於 104 年 10 月 9 日定植，105 年度累計收穫 157 天(表 1)，滴灌試區 0.1 公頃總產量為 1012.6±88.0 公斤，顯著高於溝灌試區為 554.5±54.0 公斤。另在合格品比率比較，滴灌試區為 32.4±2.3%，顯著高於溝灌區 24.7±2.2%。105 年度設施蘆筍滴灌與溝灌栽培之用水量比較，試驗主要以比較嫩莖採收期之灌溉用水量，滴灌試區每 0.1 公頃每日用水量為 2.8 公噸，1 週 7 日合計用水量為 19.6 公噸。溝灌區每週灌溉 1 次，每 0.1 公頃每週用水量計 41.6 公噸。滴灌試區用水量為溝灌試區的 47.1%，應用滴灌之節水效率超過 50%以上。

表 1. 105 年度設施蘆筍滴管與溝灌之產量比較

調查項目		1 年生滴灌	1 年生溝灌
採收天數		157	157
合格品量	產量（kg）	325.7±22.1	138.0±33.7
	支數（支）	17171±707	6233±1450
總收量	產量（kg）	1012.6±88.0	554.5±54.0
	支數（支）	71243±9211	42166±3276
合格品單支重（g）		23.3±5.2	21.9±5.9
合格品比率（%）		32.4±2.3	24.7±2.2

嫩莖長度 24 公分、粗細 0.8 公分以上為合格品面積單位：0.1 公頃

表 2. 106 年度設施蘆筍滴管與溝灌之產量比較

調查項目		2 年生滴灌	1 年生溝灌	2 年生溝灌
採收天數		151	165	151
合格量	產量（kg）	997.7±111.4	827.6±68.1	671.8±123.5
	支數（支）	46493±4677	41150±3527	29700±4357
總收量	產量（kg）	2081.8±140.5	1966.9±41.6	1467.7±77.2
	支數（支）	169858±15096	166100±2288	125266±4022
合格品單支重（g）		20.3±4.0	19.3±3.1	21.1±4.7
合格品比率（%）		48.0±2.3	42.0±1.1	45.6±2.7

嫩莖長度 24 公分、粗細 0.8 公分以上為合格品(面積單位：0.1 公頃)

4.1.2**106 年度產量比較**：106 年度調查試驗區(2 年生滴灌區及 2 年生溝灌區)，係於相鄰溫室另增加試作點，於 105 年 10 月 11 日定植(1 年生滴灌區)，106 年度 2 年生滴灌區及 2 年生溝灌區均各累計收穫 151 天，1 年生滴灌區則累計收穫 165 天(表 2)，2 年生滴灌區 0.1 公頃總產量為 2081.8±140.5 公斤，顯著高於 2 年生溝灌試區 1467.7±77.2 公斤，但與 1 年生滴灌區無顯著差異。另在合格品比率比較,2 年滴灌試區為 48.0±2.3%,顯著高於 1 年生滴灌區溝灌區 42.0±1.1，但與 2 年生溝灌區無顯著差異。106 年度設施蘆筍滴灌與溝灌栽培之用水量比較，試驗主要以比較嫩莖採收期之灌溉用水量，滴灌試區每 0.1 公頃每日用水量為 5.2 公噸，1 週 7 日合計用水量為 38.5 公噸。溝灌區每週灌溉 2 次，每 0.1 公頃每週用水量計 83.2 公噸。滴灌試區用水量為溝灌試區的 46.2%，應用滴灌之節水效率超過 50%以上。本項試驗在 105 年度種植第 1 年滴灌試區 0.1 公頃總產量僅為 1012.6±88.0 公斤,雖然在 106 年度新種植第 1 年滴灌試區 0.1 公頃總產量僅為 1966.9±41.6 公斤，其落差原因係 105 年度春季採收期，設施內遭逢斜紋夜蛾嚴重危害，除影響收穫量，105 年春季採收期也被迫提前結束；106 年度試區雖然受到 5 月 31 日豪雨淹水近 24 小時影響，106 年春季採收期也被迫提前結束，但植株受損尚屬輕微，因此夏季採收期也提前開始，故 106 年度新種植第 1 年滴灌試區產量高於 105 年度種植之第 1 年滴灌試區。

表 3. 設施蘆筍滴管與溝灌之嫩莖咬斷力比較(單位：公克)

	24cm	24cm	22cm	22cm
調查日期	滴灌	溝灌	滴灌	溝灌
04/19	10178±2257	18328±2144	4992±1861	10080±1830
04/26	10822±1151	15393±2043	4377±1022	5864±1136
4.79±0.55	8925±2328	13309±2765	4497±1183	8550±2751
4.89±0.41	10665±1752	12145±1215	4203±1253	5503±1062
4.96±0.41	10145±1752	14212±1834	4503±1253	6700±1105
4.70±0.45	10635±1691	15599±2795	4702±1279	7791±2222
05/31	9215±1061	14344±1091	4485±1027	8101± 935
06/07	10226±1364	11499± 808	4130± 909	8795±1164

106 年 6 月 3 日試驗田遭洪水淹沒過畦面約 24 小時

4.1.3 **品質(咬斷力)比較**：本項調查係 106 年自 4 月 19 日起於養液滴灌及傳統溝灌組，每週風機取樣一次，樣品規格為採收時長度達 26 公分，直徑均為 1 公分，應用物性分析儀紀錄切斷每一嫩莖距頂端 22 及 24 公分所需力量。每一處理調查 24 支。由表 3 測定咬斷力分析結果，顯示在嫩莖 24cm 處切斷時，養液

滴灌組所需平均咬斷力小於 11,000 公克，然在傳統溝灌組則大於 12,000 公克，甚至有高達 18,000 公克以上。而在嫩莖 22cm 處切斷時，養液滴灌組所需平均咬斷力小於 5,000 公克，然在傳統溝灌組則大於 5,500 公克，甚至有高達 10,000 公克以上。推測因養液滴灌組供水較為穩定，乾濕變化波動小於傳統溝灌組，因此在養液滴灌組嫩莖品質相對穩定，所需咬斷力數值低且變異程度較小。

4.1.4 **品質(糖度)比較**：本項調查係 106 年自 4 月 19 日起於養液滴灌及傳統溝灌組，每週風機取樣一次，樣品規格為採收時長度達 26 公分，直徑均為 1 公分，應用數位型糖度計分析鋸切斷每一嫩莖距頂端 22 及 24 公分所需力量。每一處理調查 24 支。由表 5 測定咬斷力分析結果，顯示。本項調查係 106 年自 4 月 19 日起於養液滴灌及傳統溝灌組，每週風機取樣一次，樣品規格為採收時長度達 26 公分，直徑均為 1 公分，切取嫩莖距頂端 22 至 24 公分小段，搾取汁液並應用數位式糖度計測定糖度，每一處理量測 24 支。由表 6 測定糖度分析結果，顯示養液滴灌組生產嫩莖經每週次之取樣分析之平均糖度數值均高於傳統溝灌組，但依據因各處理之平均值標準偏差分析，顯示二處理間之嫩莖糖度相似，故養液滴灌無明顯提升糖度品質成效。

表 4. 設施蘆筍滴管與溝灌之嫩莖糖度比較單位：^{O}Brix)

	22-24cm	22-24cm
調查日期	滴灌	溝灌
04/19	4.52±0.46	4.03±0.71
04/26	4.42±0.43	4.38±0.25
05/03	4.79±0.55	4.54±0.55
05/10	4.89±0.41	4.83±0.39
05/17	4.96±0.41	4.89±0.68
05/24	4.70±0.45	4.63±0.56
05/31	4.55±0.44	4.38±0.38
06/07	5.31±0.39	4.73±0.47

106 年 6 月 3 日試驗田遭洪水淹沒過畦面約 24 小時

4.2 機械取代人力割除老化母莖效率評估：

臺灣蘆筍產業興起於應用留母莖栽培，成功因素不僅有貯藏根前一年貯藏的養分支持，也因有留母莖能行光合作用供應碳水化合物，滿足嫩莖生長發育之養分需求。傳統每年採收期程主要分為春季、夏季及秋季等三採收期，惟每季採收期前，基於植株之地上部(母莖)多已老化或枯黃，光合作用效率不佳，老化母莖需割除，並重新培育健壯母莖，以利持續蓄積養分於地下部貯藏根，通常每年需執行割除母莖三次。為

求蘆筍植株生育整齊，必須在短時間內完成割除工作，對於筍農而言是項沉重負擔工作。近年來藉由合理的肥培及適切的灌溉管理，已有能力將春季採收期延後，並將秋季採收期提前，即採收期僅分為春季及夏秋季二期。

由於每年至少仍需執行割除老化母莖二次，因此本場藉由導入輔具(綠籬機+背負型圓盤鋸齒式割草機)，建立「割除老化母莖省工作業模式」，係為解決蘆筍栽培人力不足問題，更有助於縮短割除作業時間之優勢。依據表 5 結果，傳統老化母莖更新方式及作業效率，使用鐮刀於靠近莖基部，且位於土表下約 2 公分處割下；作業人員需採蹲式及持續彎腰操作，另因老化母莖已呈木質化，質地韌硬，人力割除需較費力，估計 0.1 公頃平均費時約 20-24 小時。

表 5.應用省工輔具割除老化母莖之作業時間調查(單位：分鐘)

重複 (0.01 ha)	人力割除	綠籬機 (機械前半作業)	割草機 (機械後半作業)	機械作業 時間合計
第一重複	102	30.3	16.3	46.6
第二重複	131	27.9	15.0	42.9
第三重複	162	31.5	16.9	48.4
平均值	132	29.9	16.1	46.0
標準偏差(SD)	30	1.8	1.0	2.8

註：調查日期：106 年 2 月 7 日試驗地點：雲林縣東勢鄉牛埔頭舒活農場紀錄人員：黃志偉

圖1. 春季採收期前之割除母莖適期指標：圖右為地下部根盤芽體(呈三角形)剛露白時為割除母莖適期，圖左為根盤芽體露白後約歷經2～3日。

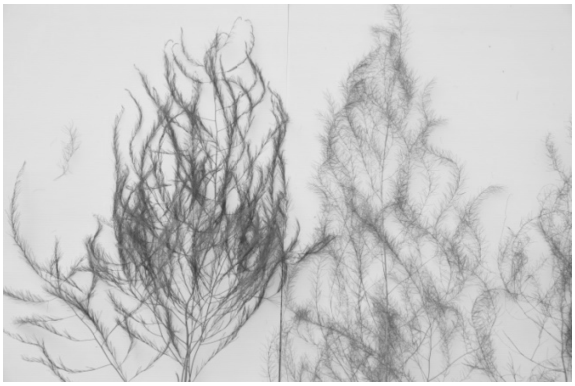


圖2. 終止春季或夏季採收期並割除老化母莖暨重留母莖指標：圖左為嫩莖採收中期之莖葉濃綠、小葉多而緊密；圖右為嫩莖採收末期之葉色淡且多枯黃、小葉數稀疏，未見新生葉。

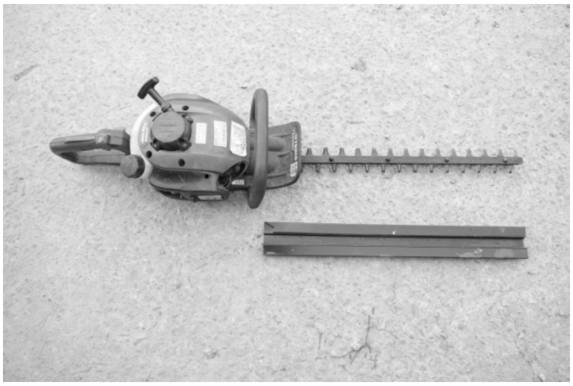


圖3. 綠籬機之雙刃機型。

圖4. 使用綠籬機作業首要步驟為割除固定網之上層母莖。

圖5. 使用綠籬機作業第二步驟為割除固定網之下層母莖。

圖6. 背負型圓盤鋸齒式割草機割需具備「剪刀式刀盤」。

圖7. 完成裝置「剪刀式刀盤」之背負型圓盤鋸齒式割草機。

圖8. 背負型圓盤鋸齒式割草機割除地上部母莖殘樁。

圖9. 背負型圓盤鋸齒式割草機割除作業要點，建議將刀盤斜插入土表下約2公分處，確保割除後表土順利覆蓋莖基切口。

圖10. 母莖割除後重新留母莖之生育初期

在應用綠籬機+背負型圓盤鋸齒式割草機割除母莖之省工作業效率(圖 1～10)，為確保作業順暢，綠籬機係採用雙刃、重量輕及振動小之機型。作業時先一次割除固定網上層母莖，完成後再割除固定網下層母莖。為達成如同人工割除作業成效，也於靠近莖基部，且位於土表下約 2 公分處割除地上部母莖殘椿。背負型圓盤鋸齒式割草機係採用具備「剪刀式刀盤」，作業時係將刀盤斜插入土表下約 2 公分處，確保割除後表土順利覆蓋莖基切口。應用綠籬機+背負型圓盤鋸齒式割草機割除母莖之作業效率，估計 0.1 公頃平均需費時約 7 小時 40 分±28 分，作業效率較傳統操作提升約 2.5 倍以上。

4.3 碎枝機就地碎化老化母莖效率評估：

蘆筍栽培之栽植行株距一般建議為 1.5×0.2 公尺，以增長蘆筍植株壽命。因此以 3 年生綠蘆筍成株為例，每季所需保留母莖數，估計每 0.1 公頃約在 9,500～16,500 支，割除廢棄時數量極多且佔空間。從單枝母莖的重量，至不同年齡蘆筍每叢根盤的留母莖數，並基於栽植的最適行株距之估算，每 0.1 公頃蘆筍田之割除後母莖的移除重量至少達 1.35～2.35 公噸。若能就地碎化，將有利植體養分及有機質回歸栽培區土壤。

依據表 6 結果，傳統人統人力人工搬移割除後老化母莖，由於畦狹長，有固定網阻隔橫向跨越畦面，需來回走動，且每次搬移數量有限，每百公尺作業約耗時近 3 小時，0.1 公頃面積若以單一人力，從溫室內搬移至溫室外堆置需費時約 20 小時。但碎枝機就地碎化堆置在 100 公尺畦溝長度的老化母莖，平均操作直線行進時間約 5 分 30 秒，終點迴轉時間約 25 秒，6 分鐘內可完成就地碎化，採用改良式碎枝機可 1 小時內處理完 0.1 公頃，應用改良式碎枝機之就地碎化作業效率，為單一人工搬移之 20 倍。

表 6.應用省工輔具就地碎化母莖之作業時間調查(單位：秒)

重複 (100 公尺)	人力搬移	碎枝機 直行作業	碎枝機 迴轉行進	機械作業 時間合計
第一重複	10,214	325	26	341
第二重複	10,341	334	23	356
第三重複	10,853	331	26	357
平均值 (時-分-秒)	10,469 2 小時 54 分 29 秒	330 5 分 30 秒	25 25 秒	351 =5 分 51 秒
標準偏差(SD)	338	5	2	9

註：調查日期：105 年 5 月 18 日試驗地點：臺南市麻豆區紀錄人員：陳水心

圖11. 修改後碎枝機刀具之中間刀片加長3公分為限。可顧及畦溝中央深度多於二側，並避免過長刀片毀損保護蓋。

圖12. 修改中段刀具之碎枝機就地碎化割除後老化母莖操作情形。

圖13.割除後母莖留置超過3日以上，因母莖經日曬脫水造成柔韌度增加，易導致碎化石纏繞迴轉刀具軸。

圖14.防倒網支架設立勿過接近溫室立面牆，以避免阻礙碎枝機迴轉行進作業。

五、結論

設施蘆筍應用養液滴灌技術，並藉由土壤 EC 及水分含量感測器，可即時監土壤養分及水分變化，有助於維持土壤養水分穩定性，也證實養液滴灌不僅顯著提升產量，也增進品質。另應用綠籬機+割草機等輔具可成功運用於取代人利執行割除老化母莖作業；應用碎枝機則可快速就地碎化母莖，免除以人力將割除後母莖搬移至設施外之處理困境，且作業效率均較應用人力作業達更快速。

六、參考文獻

1. 陳水心、楊藹華、鄭安秀、陳文雄。2007。臺灣蘆筍品種與栽培技術。135:1-18。
2. 陳水心、盧子淵。2013。蘆筍設施栽培技術及效益評估。臺南區農業專訊。86:1-6。
3. 陳水心、謝明憲。2015。設施蘆筍冬季生產技術。臺南區農業專訊。91:12-14。
4. 游景昌。2001。自走式果樹殘枝粉碎機之簡介。高雄區農業專訊。36:20-21。
5. 游景昌。2002。自走式果樹殘枝粉碎機之研製。高雄區農業改良場研究彙報。14(1):1-12。
6. 彭柳林、餘豔鋒、周開洪。2015。世界蘆筍生產及貿易情況研究。世界農業。9:136-142。
7. 謝明憲。2014。節水省肥的滴灌栽培。科學發展。496:20-26。
8. 謝明憲、陳水心、鍾瑞永。2016。設施蘆筍老化母莖田間碎化作業。臺南區農業專訊。97:5-7。
9. 謝明憲、陳水心。2017。臺灣生鮮蘆筍消費市場與進口變動趨勢。臺南區農業專訊。99:11-15。
10. 謝明憲、陳水心、楊藹華。2017。設施蘆筍結合留母莖與不留母莖管理之周年生產效益. 研究。臺南區農業改良場研究彙報69：14-29。
11. Drost, D.T., 1996.Iirrigation budget and plant growth of asparagus. *ActaHorticulturae*. 415: 343-350.

設施小果番茄節水灌溉

許涵鈞、劉依昌
臺南區農業改良場助理研究員

一、摘要

小果番茄是臺灣主要的設施栽培蔬果，主要產季集中於秋冬季，高溫高濕為臺灣設施小果番茄生產限制因子，透過適當的溫室微氣候管理與灌溉管理能穩定小果番茄品質與產量，本研究調查設施小果番茄於滴灌及淹灌栽培之用水量，結果顯示滴灌栽培用水量約為淹灌栽培之一半，且裂果率明顯較低。而設施灌溉策略必需同時考量多項環境因子，太陽輻射量與溫室內蒸發散作用高度相關，為建立臺灣椰纖栽培灌溉模式，分別以光積值達 200J/m^2 及 500J/m^2 進行灌溉，春夏作試驗結果，以光積值達 500J/m^2 為灌溉基準，於小果番茄生產初期之果實糖度較高，但植株生長勢衰弱，建議生長期進入第二個月後以光積值達 200J/m^2 為灌溉基礎,每日灌溉次數達 9~13 次。

關鍵字：設施番茄、滴灌、節水灌溉、介質栽培

二、前言

番茄(*Solanum lycopersicum*)為世界上重要果菜之一，依據農業統計年報顯示，臺灣地區 104 年栽培面積約為 4,800 公頃，年產量超過 10 萬公噸；其中設施栽培面積約為 700 公頃，主要集中在嘉義縣及雲林縣等地；簡易設施為目前臺灣地區小果番茄生產普遍使用設施種類，雖然簡易溫室環控條件雖不如密閉溫室精準，配合栽培品種之選擇，所生產之小果番茄在消費市場上受到好評，農友種苗公司育成的「玉女」為目前設施栽培之主流品種，近年更嘗試外銷至加拿大、新加坡及香港。

臺灣設施小果番茄由定植至採收結束之生育期約 8～9 個月，每公頃淹灌用水量約為 4020～6030 公噸，滴灌則為 860～1300 公噸；然而以淹灌方式約有 50%以上的水並非由植物吸收利用，除造成水資源浪費外，番茄果實可溶性固形物也會降低。而荷蘭研究報告顯示，使用養液滴灌系統配合介質栽培，平均每年每平方公尺耗水量約 500～900 公升，每株每日需水量約在 0.19～1.03 公升；配合溢流水回收利用每公升灌溉水約可產生 68 公斤番茄(鮮重)。設施內微氣候及植物生長狀況不同所需灌溉量亦不同，如番茄苗期，每株每日需水量約 0.05 公升，成株在晴天下，每株單日需水量約高達 2.7 公升。究竟何時需要灌溉?灌溉多少量?是溫室作物管理重要課題。本計畫擬以噴灌及淹灌兩種方式進行灌溉，調查番茄生育期之用水量及品質。並以光積值配合設施微氣候因子進行灌溉策略設定，同時調查植物生長及介質含水量，擬找出最佳灌溉頻率。

三、材料與方法

3.1 灌溉方式對小果番茄品質影響

1. 試驗材料：小果番茄「玉女」
2. 試驗地點：臺南市新化區力霸型溫室內
3. 試驗處理：以養液滴灌及淹灌兩種處理，依植株生長狀態進行灌溉，栽培期間每兩周施用固體肥料，栽培期前 2 個月施用臺肥 43 號，生育期第 75 天後施用臺肥 6 號
4. 調查項目：用水量、果實產量及果實品質

3.2 建立椰纖介質栽培之灌溉模式

1. 試驗材料：小果番茄「玉女」
2. 試驗地點：臺南市新化區玻璃溫室內
3. 試驗處理：以椰纖為栽培介質，灌溉方式採養液滴灌，養液配方及灌溉量依植株生長階段調整。分別以光積值達 500J/m^2 (A 處理)及 200J/m^2 (B 處理)進行滴灌，灌溉量則以每次灌溉後溢流量達灌溉量 20%。
4. 調查項目：介質含水量、溢流量、灌溉量、設施內溫濕度、果實產量及果實品質

四、結果與討論

4.1 灌溉方式對小果番茄品質影響

參試材料於 105 年 2 月 19 日定植於本場力霸型溫室中，以土壤為栽培介質，採雙幹整枝，栽培過程中以市售固體化學肥料為主，依據生長期於栽培前 2 個月每兩周施用臺肥 43 號，第 75 天開始改施用臺肥 6 號；於同年 5 月上旬進入採收期，至同年 6 月 16 進行最後一次採收及品質調查。灌溉頻率則依據植株生長狀況調整，並由流量計紀錄試驗期間用水量。結果如表一所示。

表一、比較淹灌及滴灌兩種灌溉方式對「玉女」小果番茄生育之影響*

	單果重 (g)	糖度 (Brix)	滴定酸含量(%)	硬度 (kg)	色相角度	彩度	產量 (kg/分)	裂果率 (%)	用水量 (公噸/分)
滴灌	12.97	8.97	0.29	3.75	47.68	34.56	2331.25	13.00	403.98
淹灌	12.70	8.73	0.29	3.61	48.80	34.04	2322.66	32.00	838.33

*表中品質分析數據為四次調查之平均值

研究結果顯示栽培期間滴灌用水量約為每分地 404 公噸，為淹灌用水量(每分地 838 公噸)之一半。比較小果番茄之果實品質，採用滴灌栽培之單果重、糖度、硬度及

產量略高於淹灌栽培，但滴灌栽培之裂果率僅有 13%，明顯低於淹灌栽培之 32%。介質水分含量是影響番茄品質因素之一，輕微水分逆境是提高品質手段之一，本場曾比較在不同土壤水份含量條件下栽培之小果番茄品質與產量，栽培於土壤含水量 10%處理用水量為 30%處理組之一半，且果實裂果率顯著較低，可溶性固形物的含量顯著高於含水量 30%處理組。由本研究結果亦能證實，藉由滴灌控制土壤水分含量可以達到節水同時減少裂果率。

4.2 建立椰纖介質栽培之灌溉模式

由於「玉女」小果番茄為國內設施栽培主要品種，本試驗僅以「玉女」單一品種，不同灌溉量進行處理，並未針對不同品種間差異進行試驗處理異。春作試驗：於 105 年 3 月 22 日定植小果番茄「玉女」於試驗溫室中，以 100*12*10 公分之椰纖栽培袋為介質，栽培密度為 2 株/平方公尺，採雙幹整枝，共定植 280 株。分別以光積值達 500J/m^2 (A 處理)及 200J/m^2 (B 處理)進行滴灌 150mL。試驗期間第一個月(3/22~4/22)，植株平均葉片數由 7 片增加至 19 片，平均每株約有 2 串花序，溫室內平均日夜溫為 29.7/23℃，太陽輻射量累積為 37,356 J/m^2，A 處理之累積灌溉量為 2.6L/m^2，平均溢流量為%，B 處理之累積灌溉量為 60.8L/m^2，平均溢流量為 3.8%。生育期第二個月(4/23~5/22)植株平均葉片數由 19 片增加 22 片，平均花序數 2 增加至 9；溫室內平均日夜溫為 31.1/25.7℃，太陽輻射量累積為 36,730 J/m^2，A 處理之累積灌溉量為 68.6L/m^2，平均溢流量為 0.4%，B 處理之累積灌溉量為 182L/m^2，平均溢流量為 1.1%。於本試驗中，顯示於高溫期時當植株生育葉片數達近 22 片，溫室內蒸發散量與 68.6L/m^2 相近。

表二、試驗期間溫室內微氣候條件與灌溉溢流量

	日夜均溫℃	累計太陽輻射量	累計用水量 L/m^2	溢流量%
3/22~4/22				
500J/m^2	29.7/23	37,356 J/m^2	22.6L/m^2	2
200J/m^2			60.8L/m^2	3.8
4/22~5/22				
500J/m^2	31.1/25.7	36,730 J/m^2	68.6L/m^2	0.4
200J/m^2			182L/m^2	1.1

評估植株生長勢，A 處理生長勢相對較弱，於定植後第 10 周進行果實性狀調查，A 處理之單果重為 9.3g，糖度為 8.8°Brix；B 處理之單果重為 11.9g，糖度為 7.8°Brix；

比較兩處裡果實品質，A 處理於進入生育期第二個月後處於輕微水分逆境下，果實糖度較高，但硬度較高(4.22kg)；分析其植株生長勢，A 處理植體乾重為 70.8g，B 處理為 109.6g，顯示 A 處理之植株生育受到限制；且 A 處理之平均每株花序數為 9.5，每串花數為 13.4 朵，明顯低於 B 處理之平均每串花數 18.4。

表三、試驗期間番茄生育性狀調查

	單果重 g	糖度 °Brix	硬度 kg	植體乾重 g	花序數	每串 花數	結果率 %
A 處理	9.3	8.8	4.22	70.8	9.5	13.4	14.4
B 處理	11.9	7.8	3.26	109.6g	10.8	18.4	10.5

直接偵測土壤水分或水勢的反應，為灌溉策略之主要因子。目前已有許多感測器可用來偵測土壤含水狀態，常見土壤水偵測包括土壤張力計、電容式水分感測器及 Watermark 土壤濕度感測器。但不論是何種土壤水分感測器皆需與介質緊密接觸。而蒸發散量(Evapotranspiration)的計算常用來評估灌溉時機，而溫室中光度、溫度、濕度、風速、葉面積等因素均會影響蒸發散量，其中光度(太陽輻射強度)與蒸發散最為相關。光積值(Radiation sum)是光照強度經過一段時間的累加計算之後的數值，利用光積值達到設定值便啟動灌溉為常見灌溉策略依據；即在太陽輻射相對較高時(如:晴天、中午)，作物蒸散作用旺盛，此時啟動灌溉頻率較為密集，反之陰雨天的灌溉次數相對較低，能減少過度灌溉造成的浪費及因溼度變化造成的裂果比例，因此本研究採用光積值為灌溉基礎，評估臺灣地區小果番茄之灌溉頻率。

灌溉頻率必須同時考量多項因子，植槽/植株秤重裝置廣泛利用於椰纖等組成鬆散的介質，荷蘭設施栽培廣泛利用植槽重量監測裝置，透過栽培袋重量變化可以直接偵測植株與介質因為蒸發散作用減少的水分，以及灌溉的量是否足夠，在灌溉策略上是一個相當重要的指標。未來也將朝向以植槽重量變化建立台灣設施番茄之灌溉模式。

五、結論

「玉女」為國內小果番茄主要栽培品種，因皮薄口感佳廣受消費者喜愛，相對也容易因環境劇烈變化而裂果，維持生產環境穩定避免土壤濕度劇烈變化是理想灌溉策略目標。而光線、溫度、濕度及植物生長等都是影響決策的因子，因此必須參考多項指標同時評估且隨著植物生長與環境而調整。本研究結果顯是透過滴灌栽培能夠有效減少用水量，同時提高品質，減少裂果發生。而太陽輻射為影響植物蒸發散量及設施微氣候的主要因子，以光積值達 500J/m^2 為灌溉基準，於小果番茄生產初期之果實糖度高於 200J/m^2 為灌溉基準，但植株生長勢較弱，且於生長期進入第二個月後灌溉溢

流量近 0%，顯示月累積灌溉 68.6L/m^2 不足以供應生長所需。於植株葉片數達 20 片以上，因植株蒸散作用增加及果實進入膨大，用水量逐漸增加，應再增加灌溉量。

六、參考文獻

1. 徐鶴林、李景富。2007。中國番茄。中國農業出版社。
2. 謝明憲、劉依昌、許涵鈞、江汶錦、鍾瑞永。2012。小果番茄肥液滴灌管理研究。臺南區農業改良場研究彙報第 59 號:9-18 。
3. 謝明憲、許涵鈞。2013。設施節水滴灌應用資材及技術簡介。臺南區農業專訊 84 期。1-9。
4. Callejón-Ferre A. J., Manzano-Agugliaro F., Díaz-Pérez M., Carreño-OrtegaA. and Pérez-Alonso J. 2009. Effect of shading with aluminised screens on fruit production and quality in tomato (Solanum lycopersicum L.) under greenhouse conditions. Spanish Journal of Agricultural Research 2009 7(1), 41-49.
5. Iraqi D., S. Gagnon, S. Dube and A. Gosselin. 1995. Vapor Pressure Deficit (VPD) Effects on the Physiology and Yield of Greenhouse Tomato. HortScience.30(4):846.
6. Martin P.N. Gent. 2007. Effect of Degree and Duration of Shade on Quality of Greenhouse Tomato. Hort Science June 2007 vol. 42 no. 3 514-520 - 4 – 1050629.
7. Sandri, M.A.; Andriolo, J.L.; Witter, M; DAL ROSS, T. 2003. Effect of shading on tomato plants grow under greenhouse. Horticultura Brasileira, Brasília, v. 21, n. 4, p. 642-645.
8. Shina, E.H., J. S. Parkb and J. E. Sona. 2014. Esimating the actual transpiration rate with compensated levels of accumulated radiation for the efficient irrigation of soilless cultures of paprika plants. Agricultural Water Management 135:9-18.

溫室用創新節能披覆材料開發

蔡竣宇*、艾群*、甘若泉**、潘宇晨**、李茂田**
* 國立嘉義大學生物機電工程系
** 國立嘉義大學應用化學系

一、摘要

台灣夏天氣候炎熱，導致溫室內部溫度過高，不利於人員作業與植物生長。太陽輻射中，導致溫室溫度升高的紅外線約佔總輻射量的 50%，因此若能透過光選擇性薄膜來阻擋紅外光將可達到降溫的效果。本研究嘗試改善溫室披覆材料，使其減少紅外線穿透，且維持適當可見光的方式，以達到降低溫室內溫度。本研究選用乙烯-醋酸乙烯酯共聚合塑膠（EVA，Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers）做為塑膠膜基材，並加入數種無機氧化物製作成薄膜。製作完成的薄膜，以原子力顯微鏡（Atomic Force Microscope , AFM）掃描其表面型態，發現其表面平均粗糙度恰好落在 CNS 訂立的粗糙度在 N3 以下（＜100nm），顯示薄膜表面平整，不會影響光線的穿透率。填加劑在薄膜內的分散性則使用掃描式電子顯微鏡（Scanning Electron Microscope ,SEM）觀察，實驗更使用 UV-VIS 光譜儀量測可見光與近紅外光之穿透與反射特性，以進行配方調整。實驗結果顯示，相較於傳統的 LDPE 塑膠膜，本研究開發之塑膠膜，可得到高達 2~3℃的降溫效果。

關鍵詞：溫室、乙烯-醋酸乙烯共聚物、高分子複合材料

二、前言

溫室（greenhouse）主要是用來種植作物的人造建築，可以透過控制溫室內部溫度、濕度等因素來提高農作物的產量，也可以降低病蟲害以及氣候變遷的影響。在太陽輻射中熱的來源主要來自紅外光，當有大量的紅外光進入溫室，若溫室內空氣沒有對流會使溫室內部溫度逐漸升高。在熱帶國家以及亞熱帶國家夏天炎熱高溫，使得溫室內溫度過高不利於人員在溫室內種植以及作物生長，因此需開發降低溫室內溫度的方法及材料。

太陽輻射主要可以分為紫外線（UV），可見光(VIS)及紅外線（IR），光譜波段。可見光包含光合有效輻射（Photosynthetic Active Radiation ,PAR）。紫外線（UV）又可分成三個波段：UV-A（320-400nm），UV-B（280-320nm），UV-C（100-280nm），可見光光譜為 400-780 nm，光合有效輻射波長為 400-700nm，光合有效輻射對植物的

生長是非常重要的光譜區域。紅外線輻射可分為：近紅外(NIR) 780-3000nm，中紅外（MIR）3000-50,000 nm 和遠紅外線（FIR）50,000 nm。在太陽輻射中紫外光佔 5%、可見光 45%及紅外光 50%，在能量較高的紫外光及長波長的紅外光會使得溫度升高，由於紫外光僅佔全光譜的 5%，所以對溫度的影響是有限的，而紅外光佔全光譜的 50%，因此紅外光是造成溫度上升的主要因素。文獻中[1,2,3,4,5,6,7,8,9,10,11]降低溫室內溫室的方法很多.本研究透過在薄膜加入不同的化合物及添加劑，來提高紅外線反射率，降低紅外線的穿透，使得溫室內的溫度降低，配合紫外光測試儀進行強度的老化測試，從 UV-VIS 光譜探討可見光與紅外光的穿透與反射，原子力顯微鏡觀察膜的表面粗糙度，再經由掃描電子顯微鏡觀察薄膜的分散情況，最後測量溫度觀察溫度變化。

三、材料與方法

3.1 儀器設備

- 德國原子力顯微鏡（AFM）：JPK，Axiovert200，德國
- 光纖偵測器：ocean optics USB4000，美國
- 掃描電子顯微鏡（SEM）：Hitachi SU8000
- 紫外光測試儀：UD-403，佳和科技有限公司
- 熱電偶溫度計：TECPEL，DTM-319a，台灣
- 自製塑膠膜押出機，台灣。

3.2 材料與製備

3.2.1 材料

乙烯-醋酸乙烯酯共聚合塑膠（EVA，Ethylene-Vinyl Acetate Copolymers）：台灣聚合化學品股份有限公司

3.2.2 製備方法

EVA 分別添加不同比例之奈米顆粒及添加劑，混合攪拌均勻。如表 1：

開啟機台加熱到 200 ˚C 左右，為了使螺桿的塑膠粒子熔化成膏狀，避免轉動時螺桿中的塑膠粒未熔化而導致螺桿斷裂，因此必須先熱機兩個小時後才可開始倒入塑膠粒，經過螺桿旋轉(轉速 30-32.5rpm)將塑膠料帶到模頭出料在螺桿旋轉同時會將熔化的塑膠粒，在經過成型輪(轉速 2.10-2.15m/min)擠壓而製成薄膜，成型輪中會通冷卻水，使薄膜可以降溫並且成型，而冷卻水溫度會影響膜穿透度，冷卻水溫度過高會導致薄膜霧化降低穿透，我們將冷卻水固定在 20-22 度，最後再用捲收機將薄膜捲收，塑膠薄膜可以經由螺桿轉速以及成型輪的速度來控制薄膜厚度。當在捲收輪捲收過程中，同時利用厚薄計隨機觀察塑膠膜的厚薄度，隨時調整參數來修正所需要的塑膠膜。押出機如圖 1：

表 1. 樣品配置

樣品名稱	EVA	Z(200)	Z(20)	S	IB	BC	H	A
EVA	1000g	0g	0g	0g	0g	0g	0g	0 ml
H	1000g	0g	0g	0g	0g	0g	10g	0 ml
0.2Z	1000g	2g	0g	0g	0g	0g	0g	0 ml
0.3Z	1000g	3g	0g	0g	0g	0g	0g	0 ml
0.2Z(20)	1000g	0g	2g	0g	0g	0g	0g	0 ml
0.3Z(20)	1000g	0g	3g	0g	0g	0g	0g	0 ml
0.2S	1000g	0g	0g	2g	0g	0g	0g	0 ml
0.3S	1000g	0g	0g	3g	0g	0g	0g	0 ml
0.3S+H	1000g	0g	0g	3g	0g	0g	10g	0 ml
0.3S+H+A	1000g	0g	0g	3g	0g	0g	10g	10 ml
0.3Z+H	1000g	0g	3g	0g	0g	0g	10g	0 ml
0.3Z+H+A	1000g	0g	3g	0g	0g	0g	10g	10 ml
0.2IB	1000g	0g	0g	0g	2g	0g	0g	0 ml
0.2BC	1000g	0g	0g	0g	0g	2g	0g	0 ml

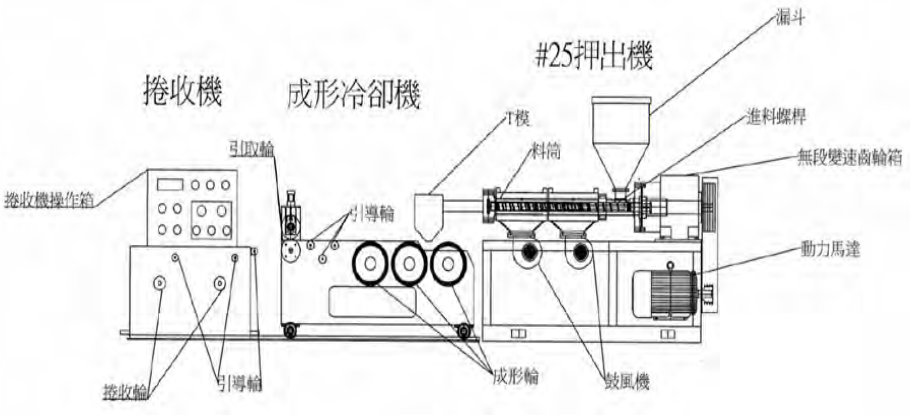


圖 1. 塑膠膜押出機

四、結果與討論

4.1 光學性質比較

4.1.1PE 與 EVA 比較

當光照射到薄膜會發生穿透、反射、吸收，而吸收。經過公式計算得到PE 及 EVA 的可見光(400-780nm)、近紅外光穿透率(780-1040nm)及反射率，EVA 的可見光、近紅外光穿透率皆明顯的高於 PE 農業用膜，在 NIR 反射率上 EVA 也比 PE 來的高，但可見光穿透率上升，同時近紅外光穿透率也跟著上升，本篇定義可見光穿透率／近紅外光穿透率，表示穿透 1 單位的近紅外光時，可見光穿透多少單位，所以也就代表說比值越大可見光穿透率越高。吸收率從全部光線減去穿透及反射就可得知吸收率如表 2 所示，EVA

的 NIR 吸收率比 PE 低，因 NIR 是主要發熱來源因此 NIR 吸收低可以降低薄膜溫度而間接地影響溫室內部的溫度，使溫度下降。從表 2 中得知 EVA 本身有較好的可見光穿透、高反射率，及低吸收率的特性。

表 2. PE 與 EVA 的穿透率、反射率、吸收率

	VIS (Transmittance)	NIR (Transmittance)	VIS (reflectance)	NIR (reflectance)	VIS (absorb)	NIR (absorb)	VIS/NIR (Transmittance)	Thickness (mm)
PE	57.2%	68.5%	4.9%	5.7%	37.9%	25.7%	0.83	0.16
EVA	76.6%	82.9%	7.4%	8.2%	15.9%	8.9%	0.92	0.17

4.1.2 不同濃度與無機氧化物的光學性質

當光線照射到樣品時，會發生穿透、反射、吸收的現象，因此添加不同濃度的 S、Z (200)、Z (20)、藍色釉料及陶瓷粉末的 EVA 膜對可見光紅外光的消長作分析。先從不同濃度的薄膜與市售的 PE 農業用薄膜做比較，選擇出有較高的可見光穿透率以及低 NIR 穿透率，或是較接近農業用 PE 膜的可見光與 NIR 穿透率。從圖 3 及圖 4 觀察，我們用市售的農業用 PE 膜與我們的 EVA 膜比較可見光穿透率以及 NIR 穿透率，從可見光的穿透率來觀察純的 EVA 的可見光穿透率可以比市售 PE 農業用膜的穿透率來的高，可達到 74%的穿透率，因此還有空間可以添加無機氧化物來降低 NIR 穿透率。

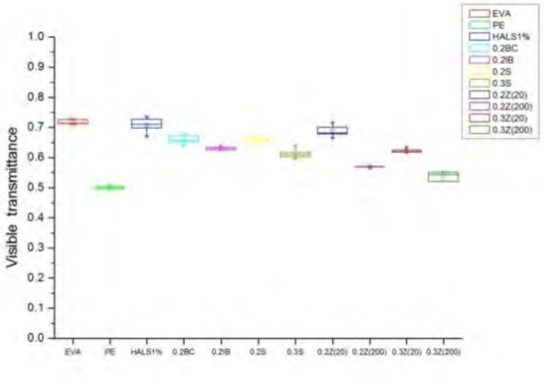


圖 3. 不同濃度及不同添加物 VIS 穿透率比較圖

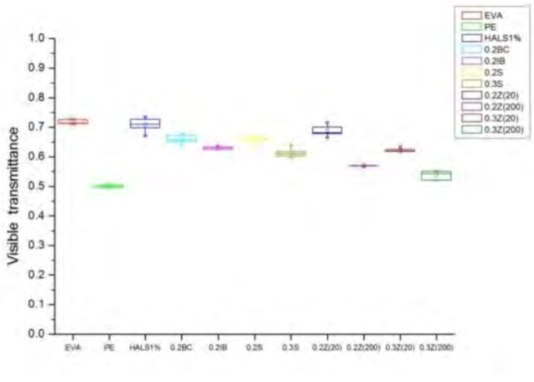


圖 4. 不同濃度及不同添加物 NIR 穿透率比較圖

4.1.3 0.3S 及 0.3Z 添加 UV 穩定劑及分散劑的光學性質

添加 UV 穩定劑（H）為了降低薄膜老化速度，而添加分散劑為了讓無機氧化物在 EVA 中希望可以有更好的分散性、提高可見光穿透及降低 NIR 穿透率避免發生團聚的現象。在圖 3 以及圖 4 我們已經確認 H 並不會影響

穿透度。

從圖 5 可觀察到在 0.3S 的所有樣品中可以發現其可見光的範圍落在 57-73%左右，在 0.3S+H+A 的樣品中可見光與 0.3S 的樣品可見光分佈範圍較相近，從可見光分佈來看，在 S 添加 A 分散劑並不會提升可見光穿透性，添加 S 的所有樣品其可見光都維持在 60%以上，0.3Z 的所有樣品中就有稍微落差，0.3Z+H+A 比 0.3Z 及 0.3Z+H 的可見光低，但是在可見光分佈範圍有重疊的部分落在 46-50%，從圖中可以知道添加 A 後其分散性可能還是不均勻的情況。從圖 6 觀察 NIR 穿透率，在 0.3S 的三種樣品當中，NIR 穿透率都較接近 PE 約 63-80%，0.3Z 的三種樣品當中，NIR 穿透率在 49-52%比 PE 的 NIR 穿透率低，相對的在可見光的部分也會跟著降低。從可見光及 NIR 穿透分佈圖中得知，添加 A 並不會使分散性更好，且不會提升可見光穿透及降低 NIR 穿透。推斷 A 對於分散 Z 及 S 在 EVA 中的分散性可能沒有明顯的效果。

4.2 表面粗糙度測量

在反射紅外光主要會受制於材料的折射率、顆粒大小、粒子分佈，黏合劑濃度及入射光的波長影響。平均粒徑、粒徑分佈、和顆粒形狀都是我們需要得知的重要訊息，其中以粒徑的大小最為重要，用於反射近紅外光波長 800-1200 nm 的粒徑大小至少應為待反射光波長的一半，即 400-600 nm。因此在壓膜的過程中要確定塑膠膜的平滑度，根據 CNS 的標準，粗糙度在 0.05 μm 以下為光滑平面，不影響可見光透射。

可以發現 EVA 的表面較為光滑平均粗糙度在 18.66nm 低於 PE 的粗糙度，0.3S 平均粗糙度 21.51nm，0.3Z 平均粗糙度 62.90nm，兩個樣品做比較可以發現添加 Z 表面粗糙較為粗糙而根據 CNS 的標準，粗糙度在 0.05 μm 以下不影響可見光，0.3Z 的表面粗糙度以大於 0.05μm，因此導致可見光穿透率下降。

4.3 溫度測試

為了確定 0.3S、0.3S+H+A、0.3Z、0.3Z+H+A 這四種薄膜是否有降溫效果，自製小型溫室分別覆蓋上四種薄膜來測量溫度，溫度測量時間在 11 點到中 12 點，分別測量薄膜溫度與溫室內溫度，以市售 PE 農業用膜當作標準在與我們的四種樣品做比較，比較薄膜溫度以及溫室內溫度的趨勢。從溫度比較在 0.3S 與 0.3S+H+A 的薄膜溫度及溫室內溫度與 PE 相比，我們的兩種樣品都有降溫的效果甚至比 PE 的降溫效果好，而 0.3S 的降溫效果較 0.3S+H+A 好，在 0.3Z 及 0.3Z+H+A 的降溫效果也比 PE 來的好。將各樣品的薄膜溫度與溫室內溫度平均後在與 PE 的溫度相減得出表 3，從表中可以得知添加在 S 的的薄膜溫度比添加 Z 的薄膜溫度來的低，表 3(a)0.3S 薄膜溫度比 PE 低 2.85℃，溫室內溫度比 PE 低 2.3℃；0.3S+H+A 薄膜溫度比 PE 低 1.69℃，溫室內溫度比 PE 低 1.32℃；表 3(b)0.3Z 薄膜溫度比 PE 低 2.62℃，溫室內溫度比 PE 低 1.98℃；0.3Z+H+A 薄膜溫度比 PE 低 1.07℃，溫室內

溫度比 PE 低 0.82℃，薄膜溫度與溫室內平均溫度都可以降 1-2℃。從文獻中可知道 S 在 7-13μm 的 IR 波段的 IR 效率較高於 Z，因而導致 S 的降溫效果比 Z 的降溫效果來的好。由於 S 的可見光穿透還維持在 60%以上，且 NIR 反射率也較高，所以希望在後續實驗可提高比例來增加 NIR 反射率並且降低 NIR 穿透率，以及有更好的降溫效果。

五、結論

本文希望透過加入各種奈米顆粒來幫助我們減少近紅外線穿透，從原子力顯微鏡(AFM)的掃描結果，押出機壓製的塑膠薄膜表面光滑平整，表面粗糙度不影響光線穿透率的範圍內，不會造成光線的漫反射情形導致光線穿透率降低。達到「阻隔近紅外光進入溫室內」，並且同時「保留一定量可見光穿透率」。適當的修改光線穿透率有助於溫室內植物的生長，也能確保溫室內溫度不會過高造成植物生長困難。將農業用 PE 膜與我們的樣品進行比較，根據穿透率以及反射率數據篩選出最適當的比例，使薄膜能符合所要求的條件：增加近紅外光反射率，同時保留可見光穿透。溫度實驗中我們希望壓製的薄膜能夠適合台灣的氣候，我們自製了小型溫室，並覆蓋薄膜來測量薄膜溫度及溫室內溫度，將 0.3S、0.3S+H+A、0.3Z 與 0.3Z+H+A 四種樣品與 PE 做溫度比較，這四種樣品的薄膜平均溫度及溫室內平均溫度都可以比市售的 PE 農業用膜的溫度來的低 2-3℃。希望在後續實驗可提高比例來增加增加 NIR 反射率並且降低 NIR 穿透率，以及有更好的降溫效果。

六、參考文獻

1. Sonneveld, P. J.; Swinkels, G. L. A. M.; Kempkes, F.; Campen, J. B.; Bot, G. P.A. Greenhouse with an integrated NIR filter and a solar cooling system.I*n: International Symposium on Greenhouse Cooling* 719. **2006**, pp 123-130.
2. Landsberg, J.J.; White, B.; Thorpe, M. R. Computer analysis of the efficacy of evaporative cooling for glasshouses in high energy environments. *Journal of agricultural engineering research*,**1979**,24(1), pp 29-39.
3. Morris,L.G.;Trickett,E.S.; Vanstone,F.H.; Wells,D.A. The limitation of maximum temperature in a glasshouse by the use of a water film on the roof. *Journal of Agricultural Engineering Research*, **1958**, 3(2), pp 121-130.
4. Abdel-Ghany, A.M.；Kozai, T.; Abdel-Shafi, N. Y.; Taha,I.M.S.; Huzayyin,A.S. Dynamic simulation modeling for heat and water vapor transfer in the fluid-roof greenhouse. *Japan Journal of Agriculture Meteorology*, **2001**,57(4), pp 169–182.
5. Van Bavel, C. H. M.; Damagnez, J.; Sadler, E. J. The fluid-roof solar

greenhouse:Energy budget analysis by simulation. *Agricultural meteorology*, **1981**, 23, pp 61-76.

6. Garcia-Alonso, Y.; Espi, E.; Salmeron, A.; Fontecha, A.; Gonzalez, A.; Lopez, J. New cool plastic films for greenhouse covering in tropical and subtropical areas. *International Symposium on Greenhouse Cooling* 719. **2006**, pp 131-138.
7. Verlodt, I.; Verschaeren, P. New interference film for climate control. *XXV International Horticultural Congress, Part 4: Culture Techniques with Special Emphasis on Environmental Implications* 514. **1998**, pp 139-146.
8. 趙政男，有色塑膠布保溫育苗對水稻秧苗生育之影響，*中華農業研究*，**1982**，31(4)，pp 275-282。
9. Rosenfeld, A. H.; Akbari, H., Romm, J. J.; Pomerantz, M. Cool communities: strategies for heat island mitigation and smog reduction. *Energy and Buildings*, **1998**,28(1), pp 51-62.
10. Hemming, S.;Kempkes, F.; Van der Braak, N.; Dueck, T.;Marissen, N. Greenhouse cooling by NIR-reflection.In*International Symposium on Greenhouse Cooling 719*.**2006**, pp 97-106.
11. 方上維，聚乙烯膜系溫室披覆層改質與應用，碩士論文，國立嘉義大學應用化學系暨研究所，嘉義，2014。

溫室生產能源利用效率評估
及餘能再利用技術之建立

張學豪*, 林孟廷**, 謝廣文***
*中興大學生物產業機電工程學系碩士
**中興大學生物產業機電工程學系學士
***中興大學生物產業機電工程學系副教授

一、摘要

本研究建立一套溫室設施排風餘能利用微風力發電離型系統，利用設施之大型通風扇所產生之穩定風源下，設計一導風與整流機構，架設於通風扇出風口，使風能有效收集集中導向微風力發電機，再透過最大功率追蹤器(Max Power Point Tracking)進行最大功率之輸出且及時偵測風機電壓、充電電流及電池電壓並進行負載管理，並搭配以 PLC 為核心的控制系統，利用雙電瓶獨立進行充、放電動作，控制程式依據電瓶電壓判斷並自動切換充、放電模式。將風力發電機所產生之電力儲存於電瓶中，再由電瓶所儲存的能量提供給負載使用，形成一套儲能與負載最佳化自動控制系統，達到餘能回收再利用之效果，且實踐節能減碳之目的。另完成溫室自動化硬體輸出入設施之盤點與規劃，並以可程式控制器為系統核心，依作物栽培專業及能耗考量區分日夜間不同軟體控制策略，再輔以人機介面主機做為重要控制參數之設定介面，以做為實務作物栽培之最適化控制。另一方面，溫濕度數據已採自動化方式進入資訊系統資料庫，並可採即時掃瞄或歷史查詢方式遠端調閱資料。設施能源調查是對生產現場的能源利用資訊做蒐集，利用已開發之電能功率檢測模組，檢測生產設備的實際耗能狀況，並收集生產資材與生產成效的相關資訊，將其整理分析後，建立一能源利用效率的評估模式，提供設施栽培生產能源效益最佳化之策略，進而提升能源利用效率。

關鍵字:微風力發電、雙電瓶、餘能回收

二、前言

隨著科技的進步、經濟的成長及人類在經濟活動上日趨發達之際，造成大量的石化燃料消耗及排放二氧化碳，導致全球所面臨之環境問題相當嚴重。當前全球所面臨氣候變遷、暖化、臭氧層之耗損與破壞、酸雨蔓延及大氣、海洋、河川汙染等問題，其中氣候變遷、暖化可說是最嚴峻的考驗。由於人類無法離開環境而生存，但是人類的行為及思想將嚴重的影響環境變化。在蘊藏有限的化石燃料中，為了防止化石燃料用盡後所面臨的能源危機，各國也受到危機意識紛紛進行再生能源的開發及節能減碳之政策。因此投資再生能源是可以降低二氧化碳之排放且能舒緩所受能源危機之困擾。

政府也積極加強推動再生能源之開發利用，再生能源之定義為太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、水力等直接利用或處理後所產生之能源且認定為可永續利用之能源。其中以水利、風力、太陽能等較具有發展潛力，因此須提出更多方案及實施辦法以達成能源轉換及能源使用效率之提升(台灣電力公司，2009)。

面臨全球環境變遷及氣候異常等考驗，因此利用現代化設施進行作物栽培已成為世界各國生產之趨勢。設施生產主要是透過溫室之環控系統生產作物，以降低災害發生所帶來的損失，並可提高作物產量與質量，然而溫室通風之目的在於維持作物最佳生長環境，避免高溫損害作物與控制內部溫度及相對濕度並進行換氣。自然通風可節省能源，但其缺點為易造成溫室內部溫濕度分布不均勻。而機械通風之溫室則是裝置大型通風扇，利用大型通風扇使溫室內氣流流動，並搭配水牆或噴霧系統進行降溫動作。最佳的通風控制為多段通風設定，可提供更精確的降溫能力，減少能量與提升作物品質。

三、材料與方法

3.1 系統架構設計

本研究整體系統架構如圖 1 所示，係利用溫室通風扇所排出之穩定風源透過導風及整流機構使風集中且有效收集，並減少紊流以均勻平行風方式導向風力發電機，將風機之動能轉換為機械能，再將機械能轉化為電能使用，進而提升風力發電機之發電效率。再搭配最大功率追蹤器找出風機最大功率點對蓄電瓶進行充電，且即時偵測風機電壓、充電電流與蓄電池電壓及電池狀態，透過 RS-485 將資訊傳輸至以 PLC 為控制核心之控制器且每分鐘記錄一筆資訊並儲存至 Data Bank，資訊包含：日期、時間、電瓶電壓、風機充電電流、MPPT 充電電壓、電池狀態及切換狀態。再由設計之控制系統進行蓄電池之充、放電機制管理(含市電輔助供電、充電)，最後再將所儲存之電力提供給溫室負載端使用，負載端為 LED 燈 4 支、網路攝影機(IP CAM)與集線器(HUB)電源。

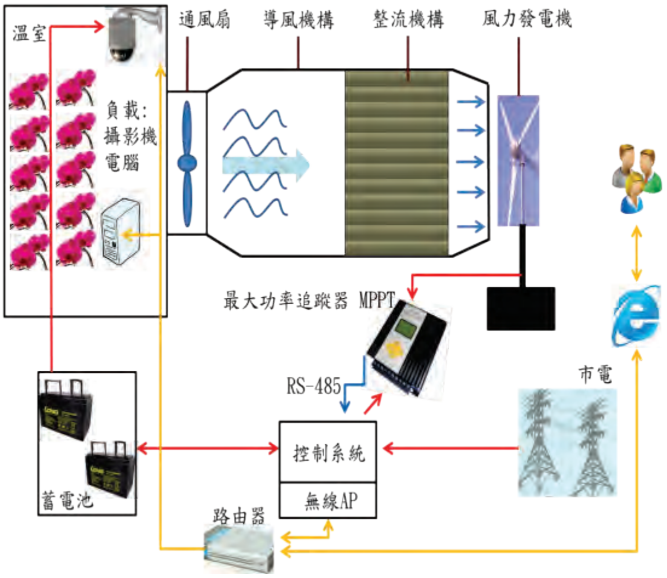


圖 1 風力發電系統架構圖

網路部分透過控制器之 HUB 將 PLC 模組、IP CAM 與溫室內現場端電腦形成一個內網域，再從遠端電腦透過 google 遠端連線進入現場端電腦，透過內網連結後，即可觀看 IP CAM 之攝影畫面及監看 PLC 控制流程與風機發電狀態。

本計畫於雲林古坑花卉中心進行實驗，將利用通風扇所排出之風源透過導風與整流機構導向風力發電機，達到餘能回收再利用之效果。

本研究採用：

- 54 吋通風扇、馬力 1HP、電壓 380V、葉片數為 6 葉、風機外徑出風口為 127 公分、外框邊長為 137 公分。
- 微風力發電機如，600W 葉片、半徑 0.65m、葉片數 3 葉。
- 導風與整流機構，將通風扇所排出之順時針風源經導風與整流機構轉為平行風，且有效收集並集中導向風力發電機，以提升發電效率。全長 185cm，主要由三段所組成，分別為擴張段、整流段、收縮段。
- 最大功率追蹤器(MPPT)，功能為風機運轉時可隨時找出最大功率點對蓄電池進行充電，且能即時偵測風機電壓、電流、電池電壓、電量及狀態。
- 熱線式風速計，作為量測風速使用。

3.2 風速、風能與通風量量測試驗

本實驗使用熱線式風速計進行風速量測。將通風扇分割為 5 個同心圓狀，而環狀面積皆相同。量測點應位於環帶面積對分之區隔線上，以半徑 R 之圓為中心依垂直方向 Y 軸與水平方向 X 軸沿伸佈置 20 個量測點，若假設出風口面積為 a，一環狀則為$\frac{1}{5}$a，

第一點為$\sqrt{\frac{1}{10}}$=0.316R、第二點為$\sqrt{\frac{1}{5}+\frac{1}{10}}$=0.548R、第三點為$\sqrt{\frac{2}{5}+\frac{1}{10}}$=0.707R、第四點為$\sqrt{\frac{3}{5}+\frac{1}{10}}$=0.837、第五點為$\sqrt{\frac{4}{5}+\frac{1}{10}}$=0.949，。進而比較通風扇後端無裝設導風與整流機構與加裝導風與整流機構所產生風速及風之分佈圖並透過公式$P=\frac{1}{2}\times\rho\times\pi\times R^2\times v^3$及 Q= v×A×60 得到風能與通風量，且進一步進行探討。搭配最大功率追蹤器(MPPT)找出風機最大功率點對蓄電瓶進行充電且即時偵測風機電壓、電流、電池電壓與狀態等，再透過 RS-485 將資訊傳送至控制器並做紀錄，再依所記錄之數據顯示進行風機效能分析。

3.3 溫室自動控制系統設置

本研究嘗試以玉女小番茄為標的農作物,研製一套適合於熱帶簡易塑膠棚溫網室下的自動控制系統，主要設備有若干感測元件及數據紀錄器、可程式控制器及人機介面主機。數據紀錄器每 10 分鐘紀錄 1 筆環境資訊，同時支援有線網路及無線 DHCP 伺服器網路，方便使用者就地透過無線方式截取資料或在遠端進行傳輸與控制，數據紀錄器本身除身兼網路路由器外，亦具備資料倉儲的功能。如圖 4 為感測器及制動器設置與方位圖，設置的無線感測器計有 10 顆室外型溫濕度計、太陽熱輻射計、風速計、光量子感測器及網路攝影機等。首先類比信號會先經傳送器轉為 4-20 mA 標準儀電信號，再利用 1-wire bus 界面給傳送器後再發送 WiFi 信號給無線感測網路工作站，後者再將資料以 RS485 有線方式送入數據紀錄器。

四、結果與討論

本實驗完成導風與整流機構設計，並架設於古坑花卉中心。於溫室通風扇後端與風力發電機之間架設所設計之導風與整流機構，使通風扇所排出之風經導風與整流機構後以均勻風導向風力發電機。

4.1 風速及分布實驗結果

於相同風扇開啟狀態時，由上述所提及之量測方法進行量測，通風扇後段無架設導風與整流機構時，最小風速為 1.6m/s、最大風速為 13.2m/s、平均風速為 8.8m/s。

通風扇後段架設導風與整流機構時，最小風速為 4.8m/s、最大風速為 11.8m/s、平均風速為 8.2m/s。(表 1)

表 1. 風速、通風量、風能量測

	無架設導風與整流機構	有架設導風與整流機構
最小風速(m/s)	1.6	4.8
最大風速(m/s)	13.2	11.8
平均風速(m/s)	8.8	8.3
通風量(m^3/min)	671.5	649.4
風能(W)	519.3	436.7

搭配 MPPT 進行最大功率之輸出並透過 PLC 程式將每分鐘記錄一筆資訊，包含兩顆電瓶之電壓、MPPT 充電電壓、風機充電電流及模式切換狀態等。

將通風扇在固定條件下進行後段有無架設導風與整流機構時風機之發電功率測試及風能轉換效率計算。

4.2 溫室自動控制系統設置

完成以可程式控制器及人機界面為系統核心之自動控制系統，可程式控制器搭配溫室常用輸出輸入設備自動採集溫室數據，並根據作物栽培專業及能耗考量區分日夜間不同軟體控制策略。控制輸出的設備有東西側排風扇，東西向循環風扇，灌溉泵浦、捲簾、南北側捲簾及遮陰網等。

人機界面製作手動/自動切換開關，手動模式下以人工方式分別控制各項周邊設施，自動模式下則依據控制策略交由可程式控制器來執行。人機並以面板來顯示當下數據與歷史曲線圖，而控制策略重要之設定如啟用、停用參數、執行、遮蔽時間等均以面板調整方式來設定，以提供現場作業人員調整作物栽培的環境關鍵參數。

五、結論

1. 通風扇在未加裝導風與整流機構時，利用國家標準風機測定方法得知其風速並不穩定且分布不均勻，越靠近圓心風速越小，平均風速約為 9.5m/s；通風扇架設本第一代以方形輸出之導風機構且以 PVC 圓管組成之整流機構後，雖然中心風速有稍稍提升但因出風口面積增加且角落本來就無風因而導致整體風速下降，平均風速為 6.3m/s；通風扇架設第二代以圓形輸出之導風機構且以垂直與水平隔板之整流機構後，圓心附近之風速明顯提升，有效將風收集且分佈更為平均，平均風速為 8.5m/s。
2. 使用雙電瓶將獨立進行充、放電動作，可有效延長負載供電及使用壽命，並能使風機對電瓶之充電更有效率。
3. 完成以可程式控制器為核心運用於溫室環境之自動化系統，並儲存溫室觀測數據

於資訊系統資料庫中，隨時可線上掃描與調閱數據或圖表。資訊系統於技術的強化與資料的整合兩方面經評估仍有若干改進的空間。

4. 本年度小番茄生產參照農委會番茄良好農業規範(TGAP)栽培進行，產量以位於溫室中央走道兩側最高，南側端第 1 行最低，5 月分後溫濕度轉高，在節用能源與藥劑考量下，並未使用植物生長調節劑，單純以溫溼度控制方式栽培。在病蟲害孳生、藥劑使用、能源節用與控制系統間取得平衡以達最佳效益仍是重要課題。

六、參考文獻

（參考文獻格式：包含作者全名、論文題目、發表日期、發表刊物及頁碼。中英文皆有時，中文應全列在前，文獻編號按姓氏筆畫之順序，同一作者依其刊出時間排序。英文以第一作者姓的英文字母來序。中英文之期刊、書籍、論文集之編排格式範例，請參考下頁參考文獻部分。）

1. 謝銘治。2009。小型風力發電機葉片之結構力學分析研究。碩士論文：長庚大學機械工程研究所。
2. 顏炳郎。2012。小型風力發電機於植物工廠的應用。台灣農學會報 13 卷 5 期:471-486。
3. 蘇永明。2005。小型風力機介紹。工研院能資所再生能源推廣室。
4. 陳響亮、陳廷宗、林昆輝。2013。綠色農場遠端自動化監控系統之研究。TANET2013 臺灣網際網路研討會【論文集】。
5. 萬一怒。農業無線感測器網路建構技術。農漁牧產業自動化網站
6. 方煒。田間伺服器與無線感測網路的國內外發展。2006。作物、環境與生物資訊。3:76-93。
7. 陳響亮、陳明皇。基於 Wi-Fi 無線網路技術之工具機廠區監控系統建置。2013。TANET2013 臺灣網際網路研討會-【論文集】。
8. 何榮祥、鄒佳倫、蕭艾茹。溫室內溫度量測與環控系統效能評估。2010。[民 99.12] 頁 67-76。行政院農業委員會臺中區農業改良場研究彙報。
9. 吳祥銘、許成源、鍾瑞永、黃裕益。分散式模組化設施環境監控系統之研究。2011。J. Agri. & Fore. 60(1): 51-66。
10. 方煒。田間伺服器與無線感測網路的國內外發展。2006。作物生產及運銷專家系統整合與促進研討會論文。
11. 吳政隆、余政杰。運用 Wi-Fi 技術實現遠端通訊。2014。International Journal of Science and Engineering Vol.4 No.2:9-12.
12. Kot, R., M. Rolak and M. Malinowski .2013. "Comparison of maximum peak power tracking algorithms for a small wind turbine." Mathematics and Computers in Simulation **91**(0): 29-40.
13. Hong, Se-Woon, In-Bok Lee .2012.Small-scale Wind Power Generation

SystemUtilizing Ventilation Flow In Livestock Building.Proceedings of the 6thInternational Symposium on Machinery and Mechatronics for Agriculture and Biosystems Engineering (ISMAB)：18-20.

14.De Broe, A. M., S. Drouilhet and V. Gevorgian .1999."A peak power tracker for small wind turbines in battery charging applications." Energy Conversion, IEEE Transactions on 14(4): 1630-1635.

15. Peiying, L., P. Yutian, M. Yanqiang and Q. Qingzhang .2011. Study on an active voltage equalization charge system of a series battery pack. Electronic and Mechanical Engineering and Information Technology (EMEIT), 2011 International Conference on.

16. Gu, Y., D. Xie, Y. Zhang, M. Zhang and J. Li .2011. The small wind turbine characteristics test. Electrical Machines and Systems (ICEMS), 2011 International Conference on.

適用於熱帶改良型溫室之環境控制系統及應用綠能科技於補光模組之開發

陳子揚*、黃柏喻**、謝廣文***
*中興大學生物產業機電工程學系碩士
**中興大學生物產業機電工程學系 學士
***中興大學生物產業機電工程學系 副教授

一、摘要

本研究整合風能及太陽能發電儲能系統，整合太陽能功率 540 W 與風能功率 600 W 之綠能儲能系統，可同時儲能，系統設計上使用雙電瓶進行充電、放電動作，並以 PLC 為控制核心，針對雙電瓶設計其控制流程。透過系統隨時偵測雙電瓶之電壓，再依照供電電瓶電壓作為判斷，切換充放電模式，並透過結合太陽能與風能之最大功率追蹤(MPPT)進行對電瓶之最大功率輸出，系統充電 24V 電瓶，將應用於行列式自動補光載具之燈管，補光目標為藤蔓式作物，如小番茄或小黃瓜，蔓藤式植物栽種需要有支架使其攀爬，因此將燈管設計與地面垂直，以利將光線照射於目標作物上使其生長。補光屏台當載具移動利用 220V 驅動馬達，並於原點位置架設電瓶充電系統。載具移動時配合 PLC 控制器行補光。燈罩設有 8 支 T5 燈管可供應補光，面積約為 2.8 米平方。並運用單晶片及嵌入式系統技術，研製溫室環境無線感測模組、環境數據自動採集控制模組及遠端輸出驅動模組，以尋求熱帶改良型溫室或自然通風溫室低成本農業資訊化與自動化之解決方案。

關鍵詞：儲能、綠能應用、補光

二、前言

人類為追求工業與經濟發展，大量使用煤、石油、天然氣等化石燃料，不僅產生溫室效應氣體，也造成空氣污染與酸雨，甚至改變了地球原本的氣候型態，造成全球氣候變遷，影響生態環境及人體健康。如欲減緩全球暖化問題，留給後代子孫一個合適的生活環境，短程的措施是藉由節約能源及提昇能源的使用效率，長期則應降低含碳化石能源的使用，以減緩大氣中溫室氣體濃度增加的趨勢。人類無法離開環境而生存，但是人類的行為及思想將嚴重的影響環境變化，在蘊藏有限的化石燃料中，為了防止化石燃料用盡後所面臨的能源危機，各國也警覺到資源消耗的窘況，紛紛進行再生能源的開發及節能減碳之政策，因為投資再生能源是可以降低二氧化碳之排放且能

舒緩所受能源危機之困擾，如何兼顧經濟、能源與環境以達成永續發展，是一項重要的課題。

政府也積極加強推動再生能源之開發利用，再生能源之定義為太陽能、生質能、地熱能、海洋能、風力、水力等直接利用或處理後所產生之能源且認定為可永續利用之能源。其中以水利、風力、太陽能等較具有發展潛力，因此須提出更多方案及實施辦法以達成能源轉換及能源使用效率之提升。面臨全球環境變遷及氣候異常等考驗，因此利用現代化設施進行作物栽培已成為世界各國生產之趨勢。設施生產主要是透過溫室之環控系統生產作物，以降低災害發生所帶來的損失，並可提高作物產量與質量，然而溫室通風之目的在於維持作物最佳生長環境，避免高溫損害作物與控制內部溫度及相對濕度並進行換氣。自然通風可節省能源，但其缺點為易造成溫室內部溫濕度分布不均勻。而機械通風之溫室則是裝置大型通風扇，利用大型通風扇使溫室內氣流流動，並搭配水牆或噴霧系統進行降溫動作。最佳的通風控制為多段通風設定，可提供更精確的降溫能力，減少能量與提升作物品質。

三、材料與方法

3.1 綠能儲能系統

利用溫室通風扇所排出之穩定風源透過導風及整流機構使風集中且有效收集，並減少紊流以均勻平行風方式導向風力發電機，將風機之動能轉換為機械能，再將機械能轉化為電能使用，進而提升風力發電機之發電效率，並結合太陽能發電加大產出功率，再搭配最大功率追蹤器找出風機及太陽能板最大功率點對蓄電瓶進行充電，且即時偵測風機及太陽能發電電壓、充電電流與蓄電池電壓及電池狀態，以 PLC 為控制核心之控制器且記錄至 Data Bank，資訊包含：日期、時間、電瓶電壓，整體架構如圖 1 所示。

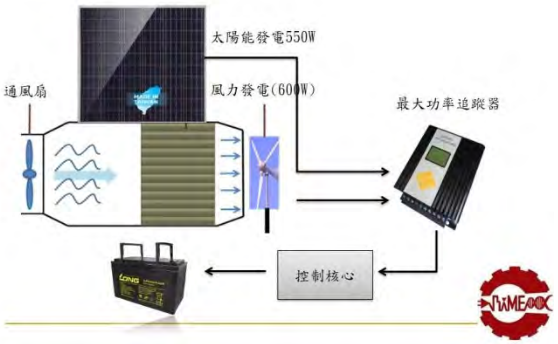


圖 1　儲能系統架構

3.2 自動補光系統

將 C 型鋼軌道設置於植栽間，利用吊掛式套件將軌道掛於溫室主體結構上確保

軌道不會晃動，距離地面 227 cm，軌道長約 40 米，初始端點與末端點位置加設極限開關，防止碰撞溫室前後端位置，行列式補光台車整體尺寸設計約 1480mm*1600mm*300mm，以鋞管為主要研製材料，分為行走部及補光部，補光平台如圖 2 所示。

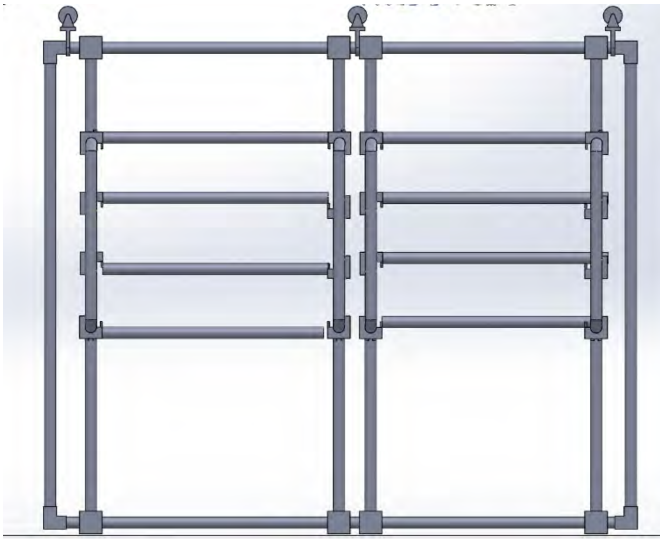


圖 2　自動補光平台

3.3 網路環控系統架構

無線感測網路設置無線感測、數據採集控制及輸出驅動三大模組，其無線感測範圍可小至單一溫室 40 平方公尺內或結合 TCP/IP 及 VPN 技術大至跨南部各縣市。

3.4 物聯網感測模組硬體設計

顯示嵌入式物聯網感測模組設計概念，規劃上使用歐洲意法半導體公司製作的 32 位元 STM32F103 為 MCU 核心晶片，再搭配有線網路晶片做為數據發布用，因應 4 組不同的感測元件需額外設計電子電路與電源線路。

四、結果與討論

4.1 網路環控系統測試

可達成環境數據感測、數據採集控制及輸出驅動的三大模組，其共通特色是 3 塊 IC 電路板均具有網路界面，因此，可以架構出單純以 TCP/IP 協定來通訊的控制系統。

4.2 綠能儲能系統測試

利用溫室通風扇所排出之穩定風源透過導風及整流機構使風集中且有效收集，並減少紊流以均勻平行風方式導向風力發電機，將風機之動能轉換為機械能，再將機械能轉化為電能使用，進而提升風力發電機之發電效率，並結合太陽能發電加大產出功

率，再搭配最大功率追蹤器找出風機及太陽能板最大功率點對蓄電瓶進行充電，且即時偵測風機及太陽能發電電壓、充電電流與蓄電池電壓及電池狀態，以 PLC 為控制核心之控制器且記錄至 Data Bank，資訊包含:日期、時間、電瓶電壓，600W 風機能夠轉換約 30%的風能為儲能系統所利用。

4.3 自動補光系統測試

於簡易溫室內進行載具移動、及燈源開閉測試。將植床分為數個補光區域，由於定位的誤差，利用初始端點與末端點位置加設接觸開關，當補光平台移到至初始端點或末端點時，馬達進行反方向運轉，使補光燈架達到來回循環式之平移完成補光動作，經由測量補光平台能提供 216μmol/m^2/s，如圖 3 及表 1。

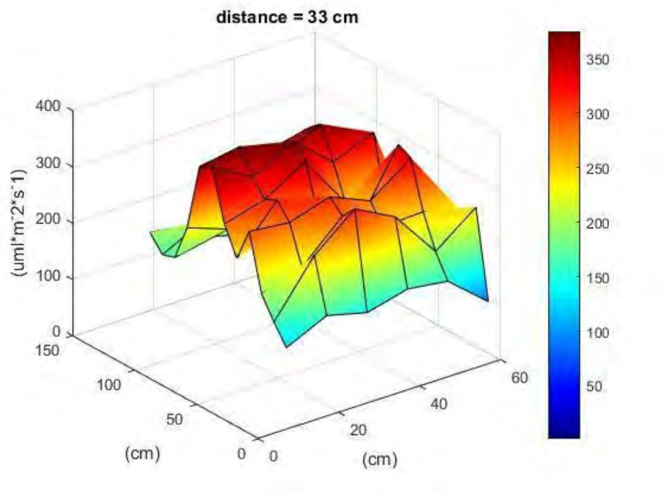


圖 3　燈管下方 33cm 處光分佈圖

表 1 燈管下方 33cm 處光分佈數據

平均照度 (μmol/m^2/s)	最大	最小	標準差
216	374	1.51	100.84

五、結論

1. 本研究設計之負載控制系統搭配最大功率追蹤器可即時偵測風機充電狀況及電瓶狀態，並搭配程式設計控制各種模式之切換進行電瓶充、放電管理，有效將風機發電之電力儲存及提供負載設備使用，並且使用雙電瓶將獨立進行充、放電動作，可有效延長負載供電及使用壽命，並能使風力發電機機及太陽能板對電瓶之充電更有效率。

2. 自動補光系統補光目標為藤蔓式作物，如小番茄或小黃瓜，蔓藤式植物栽種需要有支架使其攀爬，因此將燈管設計與地面垂直，補光台車軌道長約 40 米，補光台車長為 148cm，分距離 33cm 可提供平均照度為 216 μmol/m^2/s，補光光量對作物的影響，還需要更多實驗來驗證。

六、參考文獻

1. 方煒。田間伺服器與無線感測網路的國內外發展。2006。作物生產及運銷專家系統整合與促進研討會論文。
2. 何榮祥、鄒佳倫、蕭艾茹。溫室內溫度量測與環控系統效能評估。2010。
3. 吳政隆、余政杰。運用 Wi-Fi 技術實現遠端通訊。2014。
4. 吳祥銘、許成源、鍾瑞永、黃裕益。分散式模組化設施環境監控系統之研究。
5. 張存安。2012。風力發電最大功率追蹤之並聯輸入串並聯輸出隔型直流/ 直流轉換器研製。碩士論文：國立台灣科技大學電機工程系。
6. 陳加忠。1999。蝴蝶蘭溫室的結構與環控。中華盆花 30：9-11。
7. 陳柏宏。2004。風力及太陽能發電最大功率控制器之設計與實作。研究報告：聖約翰技術學院電機系。
8. 陳響亮、陳廷宗、林昆輝。2013。綠色農場遠端自動化監控系統之研究。
9. 黃俊盛。2001。電動車用鉛酸電池快速充電策略之研究。碩士論文：國立彰化師範大學工業教育與技術學系。
10. 黃勝正。2006。灰色預測中辨識係數對鉛酸電池放電系統影響之研究。碩士論文：國立彰化師範大學機電工程學系碩士班。
11. 萬一怒。農業無線感測器網路建構技術。農漁牧產業自動化網站
12. 謝銘治。2009。小型風力發電機葉片之結構力學分析研究。碩士論文：長庚大學機械工程研究所。
13. 顏炳郎。2012。小型風力發電機於植物工廠的應用。台灣農學會報 13 卷 5 期:471-486。

自動排汙過濾系統之研發及應用於設施廢水處理之研究

黃禮棟*、邱相文**、鄭皓文***
*農委會農業試驗所農業工程組研究員
**農委會農業試驗所農業工程組助理研究員
***農委會農業試驗所農業工程組研發替代役

一、摘要

本計畫擬研究開發碟片式自動排汙過濾系統及管理控制模組雛形，應用於農業設施之水耕灌溉用水，將過濾回收廢水利用自動逆洗以防止過濾系統堵塞而降低處理能力，以節約農業設施用水量，減少缺水之壓力。本系統目前已完成自動過濾系統設計階段，利用廢水通過疊片過濾器的進水口進入疊片後再通過濾芯內部，意即水中一些較大的雜質被阻擋在過濾疊片的外部進行表層過濾後，水流再通過疊片之間的縫隙（通道大小由疊片凹槽限制）深入濾芯內，對進入之較細雜質進行深層過濾，過濾完畢的水被引向出水口，重新進入水循環系統。過濾後之水流反方向進入過濾器，先通過濾芯，之後沖刷壓縮之疊片使其鬆開，實施反洗排污作用，固體雜質藉由排污管排出。另外，管理控制模組程式部分，利用 PLC 控制器連接 NC 螺旋管，負責傳遞反洗訊號，使電力訊號轉換為水壓力訊號，負責供給三向液壓閥，藉由三向液壓閥的開啟動作，使內部活塞排水，且關閉過濾的進水口，又將過濾器的內部與排污管相連，使得出水管裡的被過濾水從過濾階段相反的方向進入過濾器，產生自動反洗功能，應用於農業設施灌溉放流水之過濾回收及設備之自動逆洗以防止過濾系統堵塞而降低處理能力，以節約農業設施用水量，減少缺水之壓力，初期目標為達到每小時處理 100 噸放流水之目標。

關鍵字：水質處理、逆洗排污、自動控制。

二、前言

隨著全球氣候變遷日益嚴重，近年來旱象發生頻繁，國內農業栽培面臨衝擊，導致農民生產困難，產銷失衡。因此，有效利用農業灌溉用水、流放水、養液廢水...等水資源極為重要。近年來由於灌溉渠道之中、下游部分受到都市家庭汙水以及畜牧、工業廢汙之排入，汙染情形嚴重，時有糾紛，尤其發生數起因灌溉水質受重金屬汙染，使得露天土耕栽培作物受影響，導致稻米與農作物必須銷毀，引起各方關切。民以食為天，健康生產農作物為當務之急，乾淨的水資源才是解決之道。

內政部營建署與經濟部(2011)水利署將在臺中、臺南及高雄等水情較吃緊地區，合作推動公共污水處理廠放流水回收再利用，其中以葉(2014)研究高雄市鳳山溪污水處理廠作為示範案例，將放流水經薄膜處理後，供給臨海工業區工業用水，以增加水資源利用效率並穩定當地供水。已有許多文獻(Huang et al., 2011；江等人，2013；吳和焦，2008)探討利用放流水回收再利用的可行性，然而大多數的研究皆採用模擬廢水作為待處理水源，雖然可因此降低水質波動的影響且研究過程較容易控制，然而若應用這些研究的結論在實廠的規畫上，將產生落差。因此本研究將在本所裝設一套碟片式自動排汙過濾系統，來探討產水率、逆洗頻率、操作壓力與水質淨化程度等操作條件，對於操作成本、處理水量與過濾精度的影響，並建立通用性模組化元件。

三、材料與方法

裝設位置為本所植物工廠之水耕養液循環系統，將植栽吸收利用後排放之養液廢水收集，經由逆洗排汙之智慧型節水灌溉過濾管理系統過濾，淨化水質潔，回收再利用，達到節水節能。

3.1 模組化灌溉水收集設備

通過疊片過濾器的進水口進入疊片後再通過濾芯內部，意即水中一些較大的雜質被阻擋在過濾疊片的外部進行表層過濾後，水流通過疊片之間的縫隙（通道大小受疊片凹槽限制)深入濾芯內，對剩餘的雜質進行深層過濾，過濾完畢的水被引向出水口，重新進入水循環系統。

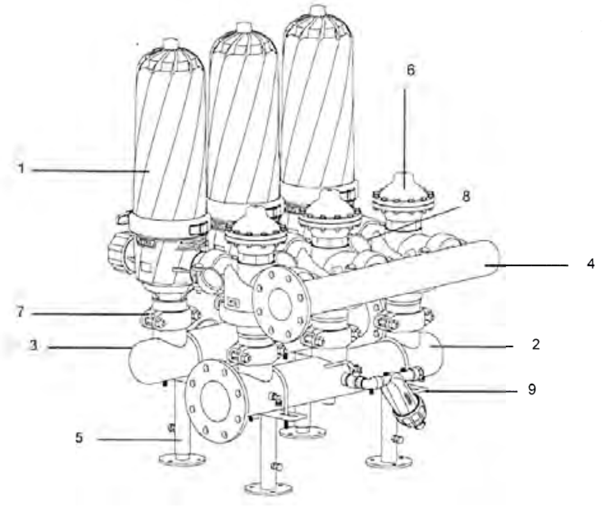
3.2 建置自動逆洗排汙管理控制模組

利用穩壓閥信號的提前時間，允許在逆洗周期開始前進行壓力調節，如果設備沒有設定參數，可將預設值設為 0 秒。過濾系統所持續的逆洗時間，可以設定參數，每次過濾所設置的時間一致，在設定周期內，會依控制程序進行過濾，如遇到正在進行逆洗的過濾排程到下一個過濾排程開始逆洗之間的時間，在這個時間之內系統會切斷所有的出水口(總出水口)。反洗階段間隔時間建立逆洗過濾最小頻率須要能設定之參數值。為了使水壓值達到設定參數，進行逆洗階段，壓差計延遲設定為壓差計相應的進水口持續關閉連接所需要的時間。這是一個為了避免過濾系統進行非必要的逆洗作業(運行)的獨立控制點。

四、結果與討論

本研究開發碟片式自動排汙過濾系統及管理控制模組雛形，如圖 1 所示，應用於農業設施之水耕灌溉用養液排放水，將過濾回收廢水利用自動逆洗以防止過濾系統堵塞而降低處理能力，以節約農業設施用水量。本系統目前已完成自動過濾設計階段，利用廢水通過疊片過濾器的進水口進入疊片後再通過濾芯內部，意即水中一些較大的

雜質被阻擋在過濾疊片的外部進行表層過濾後，水流通過疊片之間的縫隙（通道大小受疊片凹槽限制）深入濾芯內，對剩餘的雜質進行深層過濾後，過濾完畢的水被引向出水口，重新進入水循環系統。過濾後之水流反方向進入過濾器，先通過濾芯，之後沖刷疊片使其鬆開壓縮，實施反洗排污作用，固體雜質藉由排污管排出。另外，管理控制模組程式部分，利用 PLC 控制器連接 NC 螺旋管，負責傳遞反洗訊號，使電力訊號轉換為水壓力訊號，負責供給三向液壓閥，藉由三向液壓閥的開啟動作，使內部活塞排水，關閉過濾的進水口，將過濾器的內部與排污管相連，使得出水管裡的被過濾水從過濾階段相反的方向進入過濾器，產生自動反洗功能。



自動排汙過濾系統組件	
代號	元件名稱
1	自動離心式過濾器
2	進水管
3	出水管
4	排污管
5	支架
6	三向液壓閥
7	3”接口套件
8	壓力錶
9	輔助過濾器組件 3/4”

圖 1、自動排汙過濾系統設計圖

4.1 自動過濾系統設計

如圖 2 所示，廢水通過疊片過濾器的進水口進入疊片後再通過濾芯內部，較大的雜質在表層被濾除，水流再通過疊片間隙深入濾芯內，進行較細雜質深層過濾，之後流向出水口，重新進入水循環系統。反洗排污作用則是過濾後之水流反方向進入過濾器，先通過濾芯，之後沖刷疊片使其鬆開，固體雜質藉由排污管排出。

控制三階度如下所列：

1. 過濾階段：當廢水流進入彈桶形過濾器中，疊片壓縮，通過疊片閥門組底部的螺旋盤列時，水流經過高速旋轉，產生離心的螺旋效果，使水中染質遠離疊片。水流則通過疊片再進入濾心做更深層過濾。
2. 反洗階段：過濾後之水流反方向進入過濾器，先通過濾芯，之後沖刷疊片使其鬆開，實施反洗作用，固體雜質由排污管排出。
3. 重複循環階段:過濾器的疊片再次被壓緊，進入過濾階段。

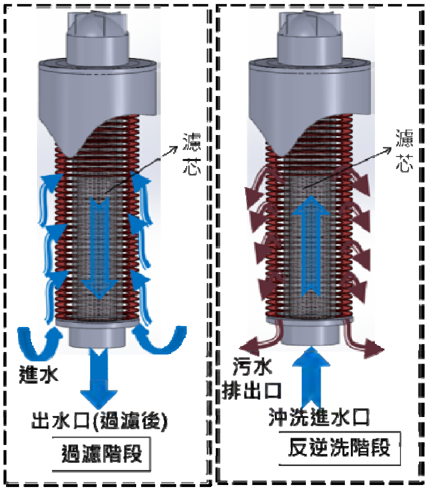


圖 2、自動逆洗過濾器之核心技術圖

4.2 自動逆洗管理控制模組程式

PLC 控制器連接 NC 螺旋管，負責傳遞反洗訊號，使電力訊號轉換為水壓力訊號，負責供給三向液壓閥。藉由三向液壓閥的開啟動作，使內部活塞排水，關閉過濾進水口，將過濾器的內部與排污管相連，使得出水管裡的被過濾的水從過濾階段相反的方向進入過濾器，產生自動反洗功能，其電路規劃如圖 3 所示，。

完成環境調控設施與外界交互通訊及監控技術開發，確保環控模組狀態可及時由外界裝置監控。此技術與遠端通訊結合，可擴大應用至多種相關產業，如保全系統等。完成多點電源備援硬品電路線路製作與功能驗證，完成此技術後，可推廣至所有對可靠度要求極高之產業，如醫院維生系統、重要設施場所監控、長期無人看守監控等場合。

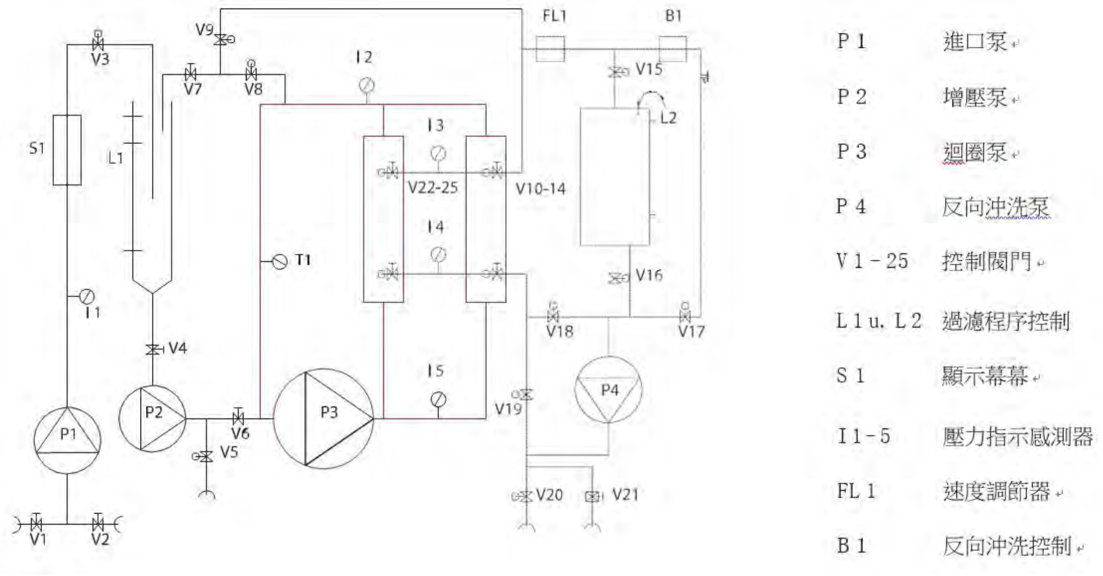


圖 3、自動逆洗管理控制系統電路圖

五、結論

已有許多文獻探討利用放流水回收再利用的可行性，然而大多數的研究皆採用模擬廢水作為待處理水源，雖然可因此降低水質波動的影響且研究過程較容易控制，然而若應用這些研究的結論在實際場域規畫，將產生落差。本研究開發碟片式自動排汙過濾系統及管理控制模組雛形，應用於農業設施灌溉放流水之過濾回收及設備之自動逆洗以防止過濾系統堵塞而降低處理能力，以節約農業設施用水量，減少缺水之壓力，初期目標為達到每小時處理 100 噸放流水之目標，使設施農業能達永續經營之目標。

六、致謝

本研究感謝農委會自動排汙過濾系統之研發及應用於設施廢水處理之研究計畫(106 農科-12.4.1-農-CA)的支持，特表謝意。

七、參考文獻

1. Huang C.J., Yang B.M., Chean K.S., Chang C.C., Kao C.M., 2011, “Application of membrane technology on semiconductor wastewater reclamation: A pilot-scales study” , Desalination, vol.278, pp.203-210, September.
2. 江家菱，朱敬平，烏春梅，吳容銘，鍾裕仁，黃欣栩，2013，“中空絲超過濾膜膠體性阻塞趨勢與系統效能之評估”，中興工程季刊，119 期，頁 95~99，4 月。
3. 吳勇興，焦士榮，2008，“工業廢水薄膜過濾處理膜廠研究”，中興工程季刊，108 期，頁 39~44，10 月。
4. 葉志泓，2014，生活污水廠利用薄膜處理效益評估研究-以鳳山溪污水處理廠為例，高雄第一科技大學，碩士論文。

   經濟部工業局，2011，“產業節水與水再生技術手冊”，經濟部，頁 1~200，11 月。

設施栽培風光互補綠能電力支援與管理系統之加值化研究

何佳勳[*]、蕭巧玲[*]、楊純明[*]、厲文誠[**]、黃郁智[**]、李進興[**]、郭仲益[***]
[*]農業試驗所作物組
[**]國家中山科學研究院
[***]冠霆電通科技有限公司

一、摘要

在極端天氣變遷環境下，設施栽培係農業(作)栽培因應調適措施之一，可提供質優且穩產的農產品。設施農業/栽培需要搭配作物栽培系統及必要電力供給，而從節能減碳及降低生產成本考量上，風、光等再生綠能之開發與利用恰可滿足此需求。面臨全球性氣候變遷及能源短缺問題，本計畫研究重點在於有效利用現地再生資源並穩定電力支援與管理，以供應設施農業運轉及提高電力使用效能。此外，建立影像監測及遠端數位傳輸作業平台，可監測土壤(介質)水分/溫度、設施內部太陽輻射量與氣溫/相對濕度等微氣象環境，乃至於現地風力及太陽能供電量與設備耗電量，以維持設施栽培正常運作。

關鍵字：簡易溫室、再生能源、電力系統、節能減碳。

二、前言

臺灣地處亞熱帶季風氣候區，夏季常有高溫多雨及颱風，而秋冬季則有東北季風及短期低溫等現象發生，利用設施栽培可減緩氣象環境所帶來的不利因素衝擊，進而穩定作物生產質量。惟設施內部微環境亦會影響作物栽培，如夏季設施內部高溫與光照分布不均、冬季內部低溫與光照不足等問題，均會影響作物生產。如何改善設施內部環境以達到週年穩定生產，並以從事設施作(植)物特殊功能性生產等，值得加以研究探討。設施農業亦有相當電力需求，其可概分為電力供應端、作物生產端與環境監控端三大項，乃主要生產成本之一。從節能減碳及降低生產成本考量，開發風力、光能等綠能/再生能源並應用於設施農業栽培上，有其需要與必要。本研究之先期階段已將風光互補綠能電力支援與管理之基本系統應用於簡易設施栽培體系，其中電力支援端包含風、光綠能及市電兩大供應來源，電力管理端則綜合蓄電、放電、用電等三大管理。此外，本研究也建立簡易型立體層架進行設施矮莖葉菜類作物之立體化栽培，並利用DC直流電LED (light-emitting diode)燈泡及LED光條提供葉菜類栽植之補光需求。如何進一步開發利用綠能來提供設施使用以提升設施作物生產質量，甚至於從事

作物特定(殊)功能性需求之加值化應用，並調節介質溫度與灌溉水量，非常值得深入探究與開發，可據以擴大簡易設施栽培之產值與應用層面。如此，不僅將助益於設施農業發展，更達成其節能、節水、減碳、降低生產成本及提高產值之多重目的。本計畫研究重點在於有效利用現地再生資源並穩定電力支援與管理，以供應設施農業運轉及提高電力使用效能。

三、材料與方法

本項計畫由行政院農業委員會農業試驗所(簡稱「農試所」)與行政法人中山科學院(簡稱「中科院」)及其育成廠商(冠霆電通科技有限公司)進行合作研究，引進外部研發能量參與設施農作生產栽培系統研發，又導入風光再生綠能於設施電力供應及發展高電力儲能與供給效率關鍵技術，將可大幅提升設施農業生產效能。換言之，本計畫擬使用現地的再生能源(風力及太陽能)，並利用儲能系統將不連續的再生能源儲存且進一步應用在設施內部之基本電力系統模組(包括光照、介質降溫、滴灌及監測系統等)。分為下列三項單元:

1. 「風光互補綠能電力支源及管理系統」，其中電力支援端將包含風、光綠能及市電兩大供應來源，電力管理端將綜合蓄電、放電、用電等三大管理。
2. 利用簡易型立體層架之DC直流電LED光照系統，可提供葉菜類作物栽培之額外人工光源，建立高生產力與低硝酸鹽之設施葉菜類最佳化栽培系統模組。
3. 建立影像監測及遠端數位傳輸作業平台，可監看設施內部微氣象資料及現地再生能源(風力及太陽能等)供電量與環境監測等設備耗電量，以維持設施栽培正常運作。

四、結果與討論

運用微型風光互補發電與高效電池組蓄能供電，開發「拖曳式風光互補蓄能供電車」及「貨櫃式風光互補儲能與供電系統」，可提高再生能源滲透率及發電儲能效果，並整合風力、太陽能及市電等多供電模式。而電力輸出包含交流電 110V、220V 與直流電 12V、24V 等多組電力輸出模式，能源轉換效率逾 90%(圖 1 及圖 2)。本項設備設置於農業試驗所之試驗田區，「拖曳式風光互補蓄能供電車」之風力發電系統為每小時 1,440W、太陽能為每小時 780W，合計每月發電量約 27 kWh，系統蓄電池容量 24 kWh;「貨櫃式風光互補儲能與供電系統」之風力與太陽能系統各為每小時 1,440W、1,200W，每月發電量約 68.5 kWh，蓄電池容量 65 kWh。該再生能源供儲電力系統現階段試驗乃應用在蔬菜立體化栽培，包括 LED 光照、滴灌及介質降溫等小型化直流電設備，以降低能源轉換之電力損耗。此外，「拖曳式風光互補蓄能供電車」可拖曳至不同場所，並將太陽光能及風力轉換為電能，以提高再生能源效率並達到節能減碳目的，且可多元應用於大型活動或農、漁業甚至災難及救援需求等電力短缺現場，以及其他電力不足或不易供應之偏遠農地使用。

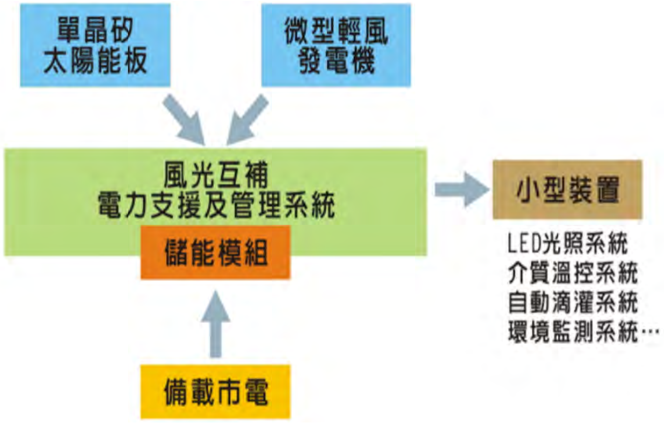


圖1、風光互補儲能系統架構

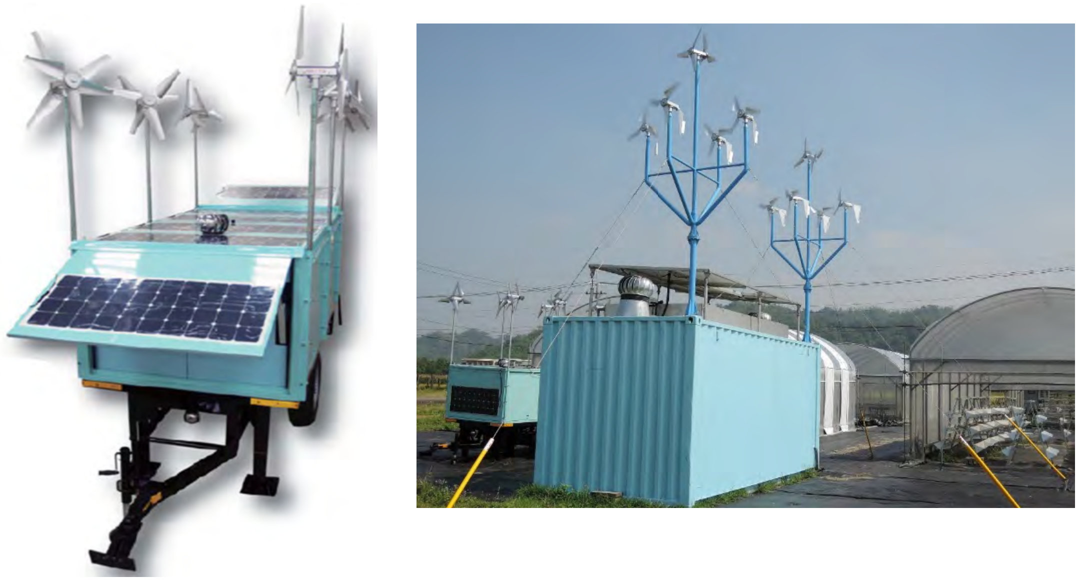


圖2、拖曳式風光互補蓄能供電車及貨櫃式風光互補儲能與供電系統

本計畫開發適用於通用型葉菜類栽培立體層架補光用DC直流電LED光條，提供葉菜類栽培之補光需求，並建立高生產力與低硝酸鹽之設施葉菜類最佳化栽培系統模式(圖3)。本計畫擬於簡易設施環境下利用光照系統降低如青梗白菜之硝酸鹽含量，初步試驗結果顯示，光照處理可降低青梗白菜植體之硝酸鹽含量，且硝酸鹽含量會隨光照強度增加而有明顯的遞減趨勢(圖4)。

圖3、通用型葉菜類栽培立體層架及光照系統

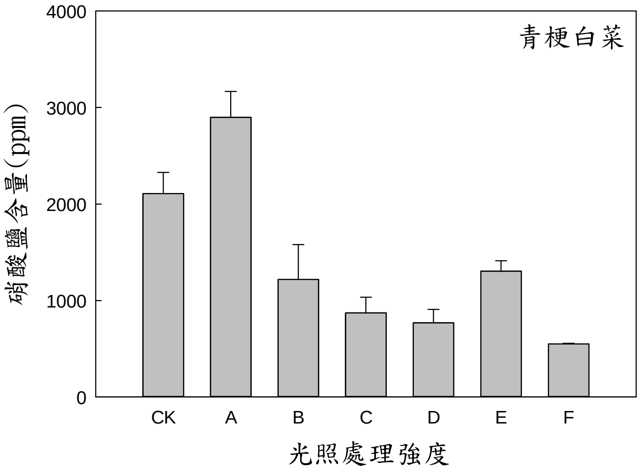


圖4、利用光照系統降低青梗白菜之硝酸鹽含量

此外，亦建立簡易設施植物生長環境參數之監測系統，提供網路使用者遠端監看功能，藉由長期記錄上述資料，建立農作資料庫，提供數據分析來源，以期協助農業技術發展。本系統包含作物生長區之影像監測及數據交換主機，以利影像、環境監測及電力監測等數據接收，而設施數據交換主機內運行之監控主程式可監看即時數據，且透過環境監測參數，如設施環境溫濕度、介質溫濕度及日射量等，以掌握作物生長最適環境並藉由高階攝影機對作物及設施全景拍攝，以記錄作物生長情形(圖5及圖6)。

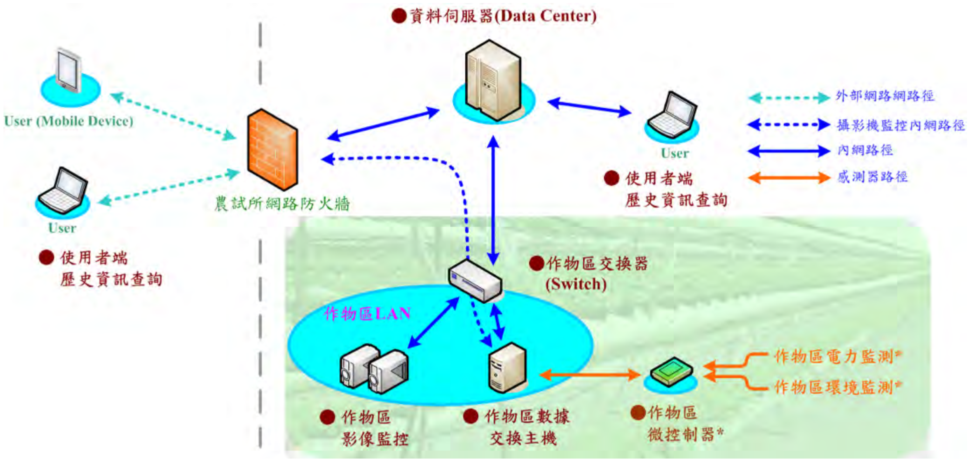


圖5、簡易設施之參數監測及遠傳系統之架構圖

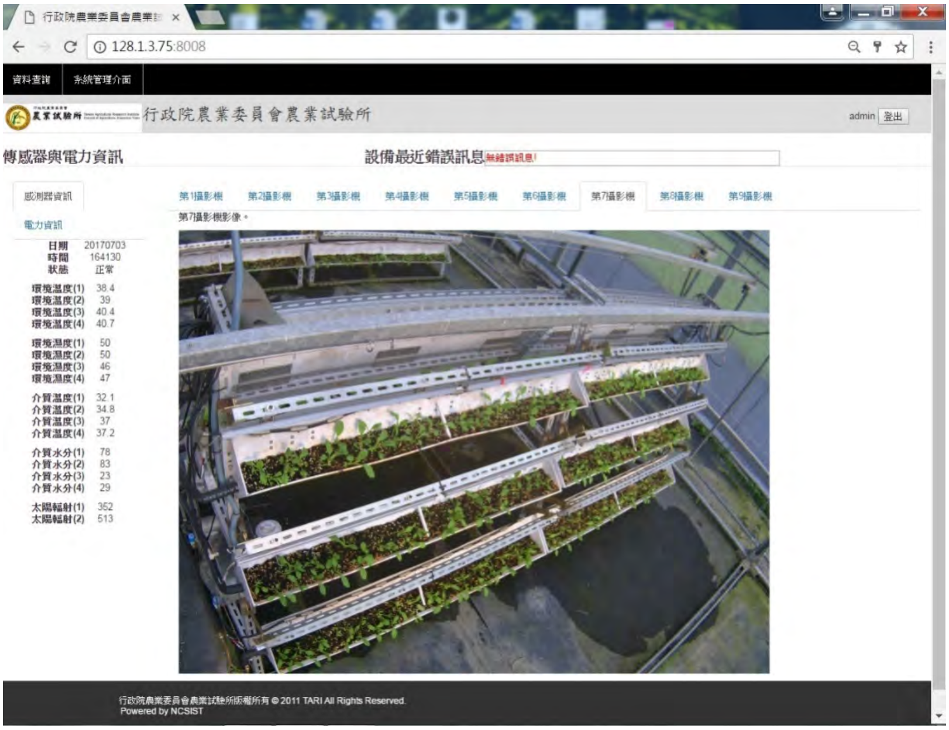


圖6、作物拍攝影像及環境監測數據之網頁即時顯示畫面

五、結論

運用微型風光互補發電、高效電池組蓄能供電，以提高再生能源滲透率及節能效果，另輔以智慧遠端監控技術，可率先開啟我國新一代農業 4.0 之智慧型農業產銷區

域化與服務精緻化之目標。此外，利用通用型葉菜類栽培立體層架之光照系統，可提供葉菜類栽培之補光需求，並建立高生產力與低硝酸鹽之設施葉菜類最佳化栽培系統模式。簡易設施之環境監測系統，可針對簡易設施之環境參數進行監測作業，如設施內外之氣溫、相對濕度、光照強度及介質環境溫度等，期以了解葉菜類蔬菜最適栽培之環境條件，並助益於未來精密設施環境控制參數之擬定。

六、參考文獻

中川行夫。1967。農業構造物の環境調節に関する研究(1)パッド・アンド・ファン式による夏のガラス室の冷房。農業気象22(4):143-148。

細野達夫、細井徳夫、川嶋浩樹、古谷茂貴、鈴木克己。2004。高温期のトマト栽培中の高軒高ハウス内の気温特性。農業・生物系特定産業技術研究機構野菜茶業研究成果情報。

Chang, C. C. 2006. A Study on monitoring rainfall along mountain road slopes with grid technique-based on GPRS. Department of Construction Engineering, National Taiwan University of Science and Technology, Master's thesis. (in Chinese)

Fukatsu, T. and M. Hirafuji. 2005. Field monitoring using sensornodes with a web server. Journal of Robotics and Mechatronics 17: 164-172.

Liang, H. W., W. S. Jwo, J. J. Chen, H. J. Hong, S. S. Jhang, S. J. Jhang, W. M. Huang. 2013. The hybrid wind/solar power lighting system. 2013 GTEA 641-647.

Trigui, M., Barrington, S. and Gauthier, L. 2001. A strategy for greenhouse climate control, Part I: Model development. J. agric. Engng Res. 78(4):407-413.

建置節水灌溉與雨水收集循環利用處理系統之試驗研究

田雲生、張金元、曾宥絃、郭雅紋、戴振洋、陳盟松、陳世芳、白桂芳
行政院農業委員會臺中區農業改良場

一、摘要

於彰化縣黃金廊道及臺中區農業改良場設置節水灌溉與雨水收集系統試驗點，並導入遠端監控生產管理模式，可供相關農友參考應用。關於不同作物灌溉試驗結果：溫室花胡瓜滴灌較噴灌、淹灌分別節水 48.2%及 80%；網室花胡瓜滴灌較淹灌節水 85.8%；露地青蔥之滴灌較淹灌節水 71.2%；紅龍果噴灌較淹灌節水 12.9%。另針對露地節水栽培與噴霧作業需要，試驗研製 1 台乘坐式噴霧兼肥灌機具，並於甘藍栽培區進行試驗應用，該機具搭配管路滴灌較淹灌節水 94.8%、節肥 55.5%。自 104 年至 106 年間，共計輔導 26 位農民設置「園藝作物節水節肥灌溉系統」，面積達 9.01 ha，皆可達到省工及節水節能的目的。

關鍵字：節水灌溉、雨水收集、黃金廊道

二、前言

黃金廊道係「黃金廊道農業新方案暨行動計畫」的簡稱，也是指彰化縣南部與雲林縣高鐵沿線 3 km(軌道中心左右各 1.5 km)範圍內的農業用地。行政院農業委員會於民國 102 年針對「黃金十年－國家願景」的施政方向，以「樂活農業」為主軸，配合「經濟動能推升方案」，所提出並推動的綜合性農業行動計畫，除輔導農民調整種植低耗水性作物、運用科技節水生產，並引進新農民、新技術以帶動相關產業發展，計畫分項執行的工作項目達 33 項之多。其中彰化縣是臺灣農業生產重鎮，其南部的溪州、埤頭及竹塘等 3 鄉 19 村列為黃金廊道推動範圍，亦是地層嚴重下陷區之一。臺中區農業改良場(以下簡稱為本場)本著服務轄區農民與地緣之便，負責辦理「園藝作物節水節肥灌溉系統之推廣應用」，協助解決農業生產節水灌溉相關問題。經調查了解該地區農民耕作習慣與灌溉方式，一部分引進濁水溪水源加以利用；另一部分則抽取地下水，而過度抽用地下水即可能衍生地層下陷的危機與疑慮。而傳統蔬果、花卉等園藝作物大多採行淹水灌溉，相當耗費水資源，遂於 103 年至 106 年在彰化縣黃金廊道推動區域及本場試驗田區設置設施、露地栽培試驗點，依不同作物生長管理而設置組裝管路灌溉施肥、雨水收集儲存系統加以示範應用，並進行節水節肥效益調查與使用成本分析等，以建立最適節水灌溉管理模式，進而推廣予黃金廊道及輔導週邊栽培農友參考運用。期望藉由地下水需求降低與推廣地面水取代部分地下水的生產方

式，達到水土資源和諧利用，協助減緩地層下陷問題，降低地區農業用水量，確保國土安全為本研究的主要目標。

三、材料與方法

3.1 試驗點選擇設置與試驗項目：

3.1.1 彰化縣溪州鄉設施蔬菜試驗點

(1)遴選 2 連棟圓頂鋞管塑膠布溫室(0.11 ha，長 90×寬 12 m)及網室(0.13 ha，長 148.7×寬 8.95 m，16 目綠色防蟲網)各 1 處作為試驗點，配合試驗戶栽植花胡瓜的生產模式，分別建置本場研發之自動養液肥灌主機，其中 2 連棟溫室試驗點搭配裝設 5 組文氏管型式之注肥器，供為單質肥料試驗之用，以及設計組裝具有 8 組分區控制系統，可作為不同田區、不同作物之管理應用。另前者規劃將 2 連棟溫室分別以穿孔管(管徑 1”)灌溉與滴灌(管徑 14 mm)作業管理，其用水用肥採自動流量監測與記錄；後者則將網室分為前後 2 區，各以穿孔管(管徑 1”)灌溉與傳統淹灌之作業方式進行試驗比較。

(2)針對該 2 連棟溫室試驗點，藉由圓拱型屋頂中間連結處之 PVC 排水管收集雨水，採前後雙側承接再匯集，經篩網過濾雜物後，以 4 個容量各 10 ton 之 PE 材質塑膠桶加以儲存，試驗記錄降雨收集量與監測塑膠桶雨水流出時之 EC、pH 值等，以及調查分析雨水通過砂濾裝置、UV 紫外線殺菌燈與否之差異；另調查比較地下水經由曝氣、砂濾裝置前後之異同，以為水質處理與否和修正收集桶最適裝設之參考依據。又配合 2 連棟溫室試驗戶應用節水灌溉與雨水收集利用系統，進行其生產管理相關成本調查與分析。2 連棟溫室試驗點規劃配置之水質處理、肥灌與雨水收集處理系統示意圖如圖 1 所示。

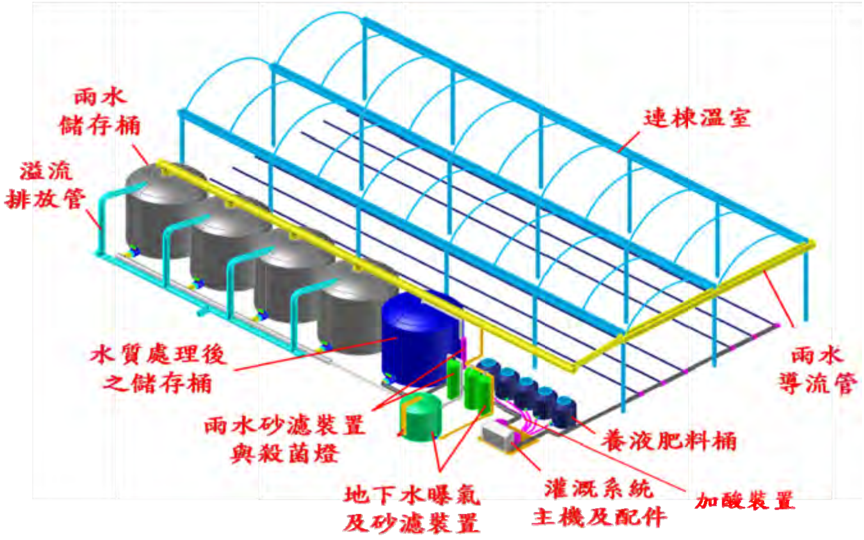


圖 1 二連棟溫室試驗點規劃之水質處理、肥灌與雨水收集處理系統示意圖

3.1.2 本場露地青蔥及紅龍果試驗點

(1)青蔥試驗點：配置之灌溉施肥監控主機可監測、顯示、儲存流量、壓力、EC、pH 及時間序列等資料，最多具有 8 作業分區之個別控制功能，並將養液經 PLC 主機及人機介面控制調整輸出量，讓適量養液肥料與灌溉水稀釋混合後，藉由 PVC 管路輸送到溫室或露地田區，其中露地田區分為滴灌與淹灌 2 組，每組 4 畦，畦長 23 m、畦面寬 1 m，每畦 4 行、每行 85 叢，滴灌組設計每畦 5 條滴灌管作業；另一相同面積田區則採淹水灌溉方式與慣行法管理，並進行 2 組間之灌溉用水記錄調查與株高、產量之比較。該主機除露地青蔥試驗分區監控記錄之外，其餘 7 分區併同作為周邊試驗溫室給水給肥之管理應用。青蔥試驗點規劃設計之配置圖如圖 2 所示。

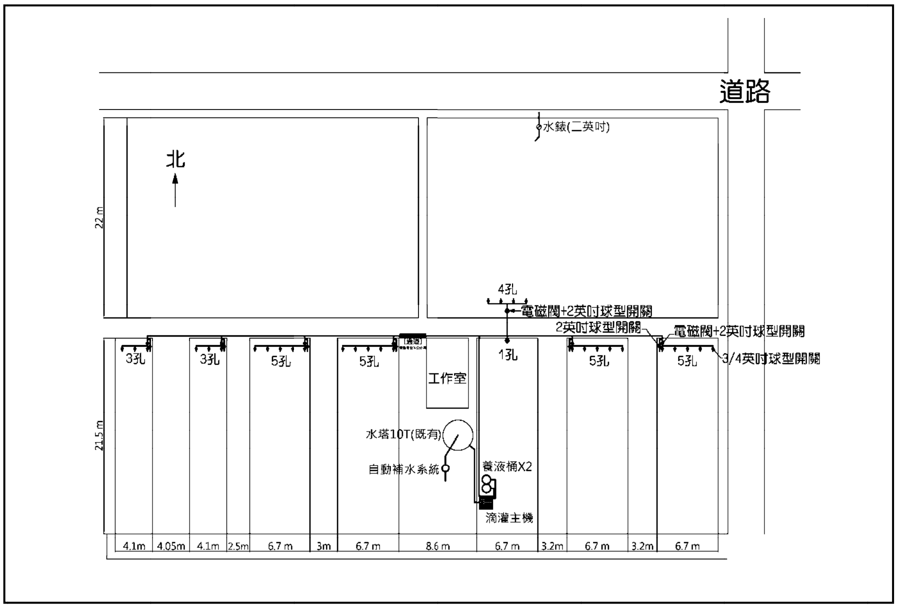


圖 2 青蔥試驗點規劃設計之配置圖

(2)紅龍果試驗點：規劃設計紅龍果試驗區之自動灌溉施肥、監測與分區控制系統，其作業功能與青蔥試驗點類同，而灌溉水來源使用既有 2 只共 5 ton (2+3 ton) PE 儲水桶，另增設 3 ton 儲水桶 2 只，分別作為曝氣及淨水儲存之用，再供給噴灌、滴灌及水質處理與否等 8 行不同處理(包括 2 保護行)之作物肥灌應用，以及進行管路肥灌與傳統肥灌之用水效能比較。另灌溉水監測系統亦包括流量、EC、pH 等監測，同樣由灌溉施肥監控主機顯示，抑或儲存資料於遠端電腦供後續分析運用。紅龍果試驗點規劃設計之配置圖如圖 3 所示。各處理組之行長 43 m、株距約 0.8 m，在 104 年 10 月初花苞形成至果實採收進行相關用水量及果重調查。

3.1.3 彰化縣竹塘鄉露地甘藍試驗點

有鑒於彰化縣黃金廊道推動區域之作物生產，露地面積遠大於設施栽培規模，除了推動設施節水節肥灌溉系統外，亦嘗試針對露地栽培大宗蔬菜之甘藍為選項，考量葉菜類作物每季產期僅約 3 個月左右，甚至土地採短期租賃栽培，故定置式

之肥灌主機等設備經評估較不適用，遂規劃設計並研製 1 台可移動之乘坐式噴霧兼肥灌機具，其機體設定為長 550~650 cm、寬 210~230 cm、高 210~230 cm，動力為四缸水冷式 60 KW 以上柴油引擎，前 2、後 4 六輪式車輪；蓄水桶採 304＃不銹鋼材質，載重量 8~10 ton，內設分隔板，以及配備有噴藥桶、抽水機、噴霧機與高壓捲管等裝置，其示意如圖 4 所示。

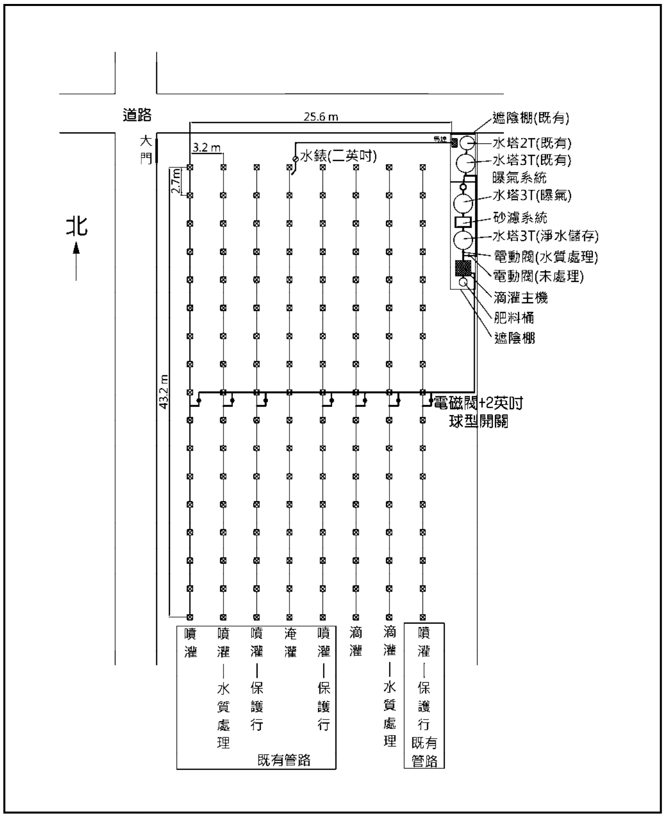


圖 3 紅龍果試驗點規劃設計之配置圖

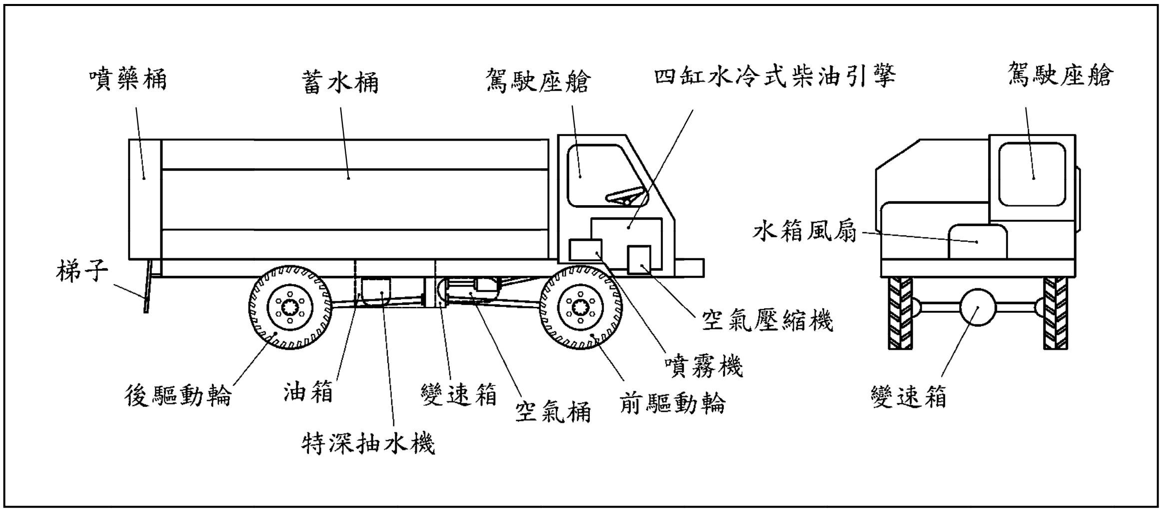


圖 4 規劃設計之乘坐式噴霧兼肥灌機具示意圖

於彰化縣竹塘鄉遴選 1 處 0.28 ha 甘藍園作為乘坐式噴霧兼肥灌機具管灌試驗點，配合菜農栽培習慣，共 20 雙畦、2 單畦，每行鋪設 1 條滴管，主管銜接口設有碟型過濾器，於 105 年 8 月中旬定植台中 2 號菜苗，每週以乘坐式噴霧兼肥灌機具裝載稀釋之即溶複合肥料進行肥灌作業；隔壁對照區域約 0.12 ha，採慣行法淹灌與施粒肥，進行用水用肥及產量之調查比較。

3.2 輔導設置園藝作物節水節肥灌溉系統分析比較：

調查統計自 104 至 106 年止，於彰化縣黃金廊道推動區域共計輔導蔬果、花卉栽培農友設置「園藝作物節水節肥灌溉系統」，針對申請建置農戶與面積數、地區別、生產作物品項、採用設施或露地栽培、使用管路灌溉類型等加以分析比較，供為後續試驗研究與政府施政計畫規劃之參考。

四、結果與討論

(一)彰化縣溪州鄉 2 連棟圓頂鋊管塑膠布溫室及水平棚架網室試驗點，分別配合試驗農戶生產期程種植花胡瓜，其用水情形經調查結果顯示，滴灌比噴灌節水 48.2%，並較傳統淹水灌溉更節省 85.8%；另藉由該連棟溫室之集水槽，將雨水收集導入 PE 塑膠桶內儲存，若以連續降雨量 80 毫米的條件下，試驗溫室實際可收集約 18 ton 雨水，依試驗戶栽培習慣估算，可提供花胡瓜幼苗期噴灌 4~8 天或滴灌 6~10 天之使用量。在地下水質分析方面，比較地下原水、曝氣後及砂濾後之試驗結果如表 1 所示，其三者之 pH 皆介於 7 左右，差異不大；鐵值由原水之 1.00 ppm 降為 0.06 及 0.02 ppm，可知利用曝氣裝置可達預期效果，砂濾則更具加乘效果；EC 值與鈣質三者稍高，顯示肥料使用量與施用時機仍需再予以修正；其他成分之差異皆不大，尚屬正常。關於雨水分析方面，在砂濾前後之 pH 值介於 7.0~7.1，EC 值由 0.31 降為 0.17 dSm^{-1}，皆在正常範圍；其他磷、鉀、鎂、鈉等含量不高，亦屬潔淨。儲存桶內與經 UV 殺菌燈之雨水，總菌數分別為 0.4×10^4 及 0.18×10^4 CFU/mL，靜置三個月則為 1.31×10^4 及 0.71×10^4 CFU/mL，可知桶內雨水無流通之菌數有增多趨勢，但通過殺菌燈則減半。

表 1 地下水水質分析結果

處理別	pH	EC	磷	鉀	鈣	鎂	鈉	銅	錳	鋅	鐵	NH^{+4}	NO^{-3}
		dSm^{-1}	----------ppm----------										
地下水	6.95	1.22	0.30	6	216	60	16	0	1.00	0	1.00	0.07	0.25
曝氣後	7.23	1.22	0.31	6	183	51	17	0	0.74	0	0.06	0.07	0.25
砂濾後	7.13	1.21	0.30	6	181	49	17	0	1.00	0	0.02	0.07	0.21

(二)彰化縣溪州鄉二連棟(0.45ha)三區域輪作式(共種植 8 期作物)設施土耕花胡瓜，進行管路滴灌作業之用水量記錄及生產成本調查，自 104 年 12 月初至 105 年 11 月下旬止，全年用水量 3869.4 ton，較傳統淹灌約減少 80％以上水資源；使用肥灌相關設備之生產成本分別為 1,721 及 1,623 千元，雖設置管路灌溉之成本較高，但約可節省 90 工(人日)進行其他管理工作，以及 1/3 之肥料費用開支。另，使用肥灌設備與否之收支純益分別達 1,294 及 1,392 千元，主要原因是試驗溫室及農作物因梅姬颱風影響較輕微，且花胡瓜災後短期售價大幅提高所致。反觀 104 年遭逢蘇迪勒及杜鵑颱風影響，部分塑膠布、農作物損傷，並衍生病蟲危害，經調查其純益僅 10.2 元/m^2，所以農業生產因天候及產銷影響收益至鉅。

(三)在青蔥試驗方面，第 1 次試驗自 104 年 7 月初定植至 9 月 7 日採收止，管路滴灌組與傳統淹灌組之用水量分別為 7.9、30.0 ton，換算滴灌較淹灌節水約 74％；每 20 株平均鮮重分別為 3.31 及 2.42 kg。第 2 次試驗則於 10 月 8 日定植，灌溉用水統計至 11 月 25 日止，管路滴灌用水量為 9.5 ton，慣行淹水灌溉則為 32.9 ton，可知滴灌比淹灌節省 71.2％。另，導入無線基地台與遠端監控裝置於管理作業，青蔥試驗區與紅龍果試驗區相關水質、用水用肥等紀錄資料，皆可由本場農機研究室之電腦主機或操作者手機予以監測、擷取，甚至直接控制作業，達到遠端走動式管理的智慧型農業發展。

(四)紅龍果試驗方面，各處理組行長 43 公尺、株距約 0.8 公尺，在 104 年 10 月初花苞形成至果實採收進行相關用水量試驗。淹灌處理組在 10 月初至 11 月 25 日的用水量 32.6 ton，果實總產量為 53,913.9 g，平均果重 477.1 g。噴灌處理組用水量 28.4 ton，果實總產量為 61,106.9 g，平均果重 433.4 g。在平均果重方面並無差異，但噴灌處理組可省水 4.2 ton，約 12.9％。另利用管路滴灌系統應用於紅肉種紅龍果栽培管理之調查結果顯示，地下水經曝氣、砂濾等水質處理之總產量 86,709.5 g、平均果重 581.9 g，以及無水質處理之總產量 87,002 g、平均果重 583.9 g，兩者間無論作物生長與產量皆無明顯差異，可知使用水質處理設備與否，在試驗初期對於果重並無影響。另在原水水質方面，因試驗區之灌溉用水的水質較差，有許多的沉澱物，可能會造成未來滴灌管之阻塞，後續將嚴格監測記錄分區輸水情形，並評估是否增加注酸等水質處理設備之應用。

(五)針對露地蔬菜節水灌溉管理所需，試驗研製 1 台乘坐式噴霧兼肥灌機具，其空機重(未裝水)約 4 ton，蓄水桶容量 9.8 ton、噴藥桶容量約 540 L；該機於道路以時速 25 km/hr 行駛，轉彎半徑約 5.1 m，每公里耗油量 647 cc；當泵浦轉速 415 rpm，儲水桶滿載 9.8 ton 之灌溉時間約 56 min；另機體長寬高為 5.8×2.1×2.2 m，稍顯龐大，除裝設燈光、喇叭、警示器等降低危險外，亦赴公所申請農機使用證與號牌，以期兼顧機械性能與操作安全。另配合彰化縣竹塘鄉試驗戶於 105 年 10 月下旬採收時進行灌溉用水量整理及產量調查，其中慣行淹灌法換算每公頃用水量 2967.9 ton，管路滴灌法為 152.9 ton，可節省水資源 94.8％；每公頃慣行淹灌法之總用肥

量 66.7 包；管路肥灌為 42.9 包，可節省肥料費用 55.5%；淹灌法平均每公頃產量 6.3 ton，滴灌法 8.3 ton，由於試驗田區遭逢梅姬颱風不同程度的影響，致產量皆大幅銳減，惟相關產量結果僅供記錄參考。而 106 年完成乘坐式噴霧兼肥灌機具之缺失改良，亦配合彰化縣竹塘鄉試驗戶生產期程，進行台中 2 號甘藍之栽培經費開支等調查紀錄，惟甘藍苗於 5 月中旬定植後，接連遭逢 0601 及 0613 豪雨侵襲，致作物全數淹死而試驗中斷，將俟農戶復耕後再重新進行各項調查記錄工作。

(六)調查統計自 104 至 106 年底止，於彰化縣黃金廊道推動區域(公告之溪州、埤頭、竹塘等 3 鄉 19 村範圍內)，共計輔導 26 農戶(包括預估可於 106 年底完成建置驗收的 2 農戶)設置「園藝作物節水節肥灌溉系統」，面積約 9.01 公頃，其設置地點分別為溪州鄉 19 農戶、埤頭鄉 5 農戶、竹塘鄉 2 農戶，可知溪州鄉農友對於管路灌溉系統之需求較高，比例達 73.1%；栽種的作物各為果菜類之胡瓜、小果番茄、彩椒、冬瓜等，短期葉菜類，果樹之無花果、木瓜，以及花卉之洋桔梗、景觀苗木等，其彙整結果如表 2 所示；設施栽培或露地栽培所使用之末端管路型式，包括滴灌、穿孔管、微噴與噴頭等 4 類，調查結果如表 3 所示。可知農戶設置灌溉系統以蔬菜生產為大宗，佔 76.9%，其次為花卉(含景觀苗木)及果樹；設施與末端管路的型式以鋼骨加強型溫室及滴灌作業最多，顯示農戶對於耐風結構與節水灌溉之觀念已漸趨改變。

表 2 彰化縣節水節肥灌溉系統之應用比較單位：農戶數

作物別	年度				小計（%）
	103	104	105	106	
蔬菜	0	13	4	3	20（76.9）
花卉	0	2	1	1	4（15.4）
果樹	0	1	0	1	2（ 7.7）
合計	0	16	5	5	26（100）

表 3 彰化縣輔導設置之設施及管路灌溉型式+單位：農戶數

管路別	設施別			小計（%）
	溫室	網室	露地	
滴灌	12	6	0	18（69.3）
穿孔管	1	1	1	3（11.5）
微噴	2	0	0	2（ 7.7）
噴頭	2	1	0	3（11.5）
合計	17	8	1	26（100）

(七)於 104 年 7 月 8 日假彰化縣溪州鄉陳姓農友的花胡瓜溫室召開「黃金廊道－節水灌溉與雨水收集處理系統示範觀摩會」，除指導農民有關設施節水灌溉技術、肥料選用與調配方法，以及展示連棟溫室收集雨水的概念外，亦說明政府鼓勵農民設立滴灌、微噴灌等節水灌溉與肥灌系統，黃金廊道專區補助灌溉資材費用 70％，共計 95 位來賓、農友參加。另於 105 年 11 月 25 日假彰化縣竹塘鄉黃姓農友之小果番茄溫室召開「黃金廊道－設施節水節肥灌溉生產技術示範觀摩會」，推廣管路灌溉與宣導設施節水栽培觀念，共計 120 位來賓、農友與會觀摩及互動交流。又於各類推廣活動、地區說明會及農民學院授課等機會，加強宣導節水灌溉的技術、優點及設置方法，並親臨現地提供設施或管路肥灌、分區控制、水質處理等相關技術，期望落實節約水資源與省工栽培的成果。

五、結論

於彰化縣黃金廊道推動區域及本場設置節水灌溉與雨水收集系統試驗點，組裝水質處理、肥灌及分區控制等設備，並導入遠端監控生產管理，各項試驗結果可供相關農友參考應用。針對水質分析結果，地下原水經曝氣、砂濾處理後，pH、EC 無改變，但鐵質明顯下降；雨水在砂濾前後之 pH 介於 7.0~7.1，EC 由 0.31 降為 0.17 dSm^{-1}，皆在正常範圍。儲存桶內雨水若無流通，總菌數有增多趨勢，但通過 UV 殺菌燈則可減半。二連棟鋞管塑膠布溫室降雨量在 80 mm 情況下，實際流入 4 只儲存桶的雨水量約 18 ton，可提供花胡瓜幼苗期噴灌 4~8 天或滴灌 6~10 天使用。

關於不同作物灌溉試驗結果：溫室花胡瓜滴灌較噴灌、淹灌分別節水 48.2％及 80％；網室花胡瓜滴灌較淹灌節水 85.8％；露地青蔥之滴灌較淹灌節水 71.2％，採收後株高與 20 株鮮重各增加 13.4％及 32.5％；紅龍果噴灌較淹灌節水 12.9％，地下水經曝氣、砂濾處理與否，其總產量及平均果重皆無差異與影響。另針對露地節水栽培與噴霧作業需要，試驗研製 1 台乘坐式噴霧兼肥灌機具，並於彰化縣竹塘鄉甘藍栽培區進行試驗應用，其中機具搭配管路滴灌較傳統淹灌節水 94.8％、節肥 55.5%，但產量則因颱風、豪雨等天災影響而屢屢不準確。

自 104 年至 106 年間，於彰化縣黃金廊道推動區域輔導 26 位農民設置「園藝作物節水節肥灌溉系統」，面積共 9.01 ha，運用滴灌、穿孔管、微噴與噴頭式等類型之末端管路，進行果菜類之胡瓜、小果番茄、彩椒、冬瓜，短期葉菜類，果樹之無花果、木瓜，以及花卉之洋桔梗、景觀苗木等，皆可達到省工及節水節能的目的。

六、參考文獻

1. 王俊傑，2010，作物栽培精準滴灌控制系統之應用研究，中興大學生物產業機電工程學系碩士論文。

2. 田雲生，2013，赴荷蘭研習心得分享－荷蘭永續節能溫室生產技術與應用，p.13- 20 臺中區農業改良場一〇一年專題討論專集，臺中區農業改良場特刊第116號。
3. 田雲生，2015，灌溉施肥技術簡介，節水節肥灌溉技術，臺中區農業專訊89: 4-6。
4. 田雲生、張金元，2015，節水措施與管路灌溉施肥技術推展現況，節水節肥灌溉技術，臺中區農業專訊，89: 13-16。
5. 田雲生、張金元，2015，設施雨水收集系統介紹應用，農業世界，388: 19-23。
6. 田雲生、曾康綺，2015，節水灌溉抗大旱，黃金廊道示範觀摩會，臺中區農情月刊，第192期第一版推廣活動專欄，行政院農業委員會臺中區農業改良場發行。
7. 田雲生、黃麗美，2016，設施滴灌真省水，黃金廊道展亮點－本場舉辦設施節水節肥灌溉生產技術示範觀摩會，臺中區農情月刊，第208期第2版，行政院農業委員會臺中區農業改良場發行。
8. 陳令錫，2012，省工自動灌溉施肥系統介紹及應用於洋桔梗栽培，p.45-55，洋桔梗栽培及利用專刊，臺中區農業改良場特刊第110號。
9. 陳令錫，2013，省工節水之自動肥灌系統簡介，農政與農情，251: 89-92。
10. 陳令錫、田雲生、何榮祥，2010，直列並排文氏管注入器肥灌系統之養液輸出性能研究，臺中區農業改良場研究彙報，107: 13-23。
11. 陳令錫、戴振洋、田雲生、何榮祥，2009，自動注入式施肥灌溉系統使用於介質槽耕栽培胡瓜之研究，臺中區農業改良場研究彙報，104: 29-37。
12. 郭勝豐、譚智宏、林尉濤、何逸峰，2010，以色列管路灌溉與水循環利用技術，省水管路灌溉管理資訊系統，農田水利會聯合會。

黃金廊道移動式菇類植物工場

石信德、呂昀陞
行政院農業委員會農業試驗所植物病理組

一、摘要

利用模組式概念建置菇類植物工場相關軟硬體，發展靈活、機動、精密、高產的農業生產模式，促進農業技術與設備升級。硬體結構部份以可拆式套件為設計單元，包括水份循環、電力供應、光源提供及溫度控制等元素，經由環境控制系統提供適當溫度、濕度、二氧化碳並搭配 LED 或 CCFL 燈源及太陽能板節能設備以北蟲草探討其栽培歷程，開發相關菇類栽培模式推廣至黃金廊道周邊地區及農產業。

關鍵字：移動式植物工場、黃金廊道、菇類、北蟲草

二、前言

「黃金廊道」是指行政院農業委員會為推動推動「黃金十年國家願景」，以「樂活農業」為施政主軸，配合「經濟動能推升方案」所提之綜合性農業行動計畫－「黃金廊道農業新方案暨行動計畫」的推動區域，此區域主要以彰化縣南部及雲林縣內高鐵軌道為中心，左右各 1.5 公里之農地，包括有埤頭、竹塘、溪州鄉、二崙鄉、西螺鎮、土庫鎮、虎尾鎮、元長鄉、北港鎮等 9 個鄉鎮，農委會計畫依當地農業特性與發展需求，以節水、友善環境、提高農民所得為訴求，量身打造農業輔導策略，期望帶動當地農業經濟動能，發展兼顧生產、生活、生態之「三生農業」，並以新技術、新農民、新產業 (三新)來打造節水、節電、友善環境、提高農民所得的永續農業。農業試驗所負責在計畫中設置 5 座(3 座供菇類栽培及 2 座供嫁接蔬果種苗栽培)之可移動式示範性高科技植物工場，導入光電技術，成為兼具「科技」、「節能」、「環保」、「節水」之農業綠能示範櫥窗，帶動地方綠色經濟新動能。

三、材料與方法

建置移動式菇類植物工場

移動式菇類植物工場在外觀結構部分（庫體）主要採用模組化、可快拆、移動及鋼架結構，以雙層版式的庫版，內充 PU 材質做為隔間，達到保溫及保濕的目的；庫體內設有吸、排風設備，並可在外區加裝太陽能板，利用太陽能板轉換來的電，提供植物工場內的部分電力如簡單照明所需用電。菇類生長分為二個階段:「菌絲生長期」與「子實體發育期」，溫、濕度及二氧化碳是影響菇類生長的重要因素。一般菇類的

生長和作物不一樣，它需要光照的時間較短，移動式植物工場內的燈源可採用發光二極體(LED)燈或冷陰極燈(CCFL)。其軟體設備配置可程式控制系統(PLC)，依據不同菇類栽培需求提供適合的溫、溼度監控系統，並採用微霧加濕可達到水份供應，並結合手機應用軟體(APP)透過網路監控遠端電腦，以掌控移動式植物工場內的菇類生長動態。

運用移動式菇類植物工場栽培北蟲草

本研究之供試菌為本所所保存之北蟲草 *Cordycepsmilitaris* 菌株代號 CMY-3 以作為在移動式菇類植物工場探討其栽培歷程所需。菌株以馬鈴薯葡萄糖瓊脂(Potato Dextrose Agar, PDA)於 25 ℃恆溫箱進行培養後，切取菌絲塊並放入無菌水中進行長時間保存。出菇試驗以白米作為主要原料，將培養料裝填入玻璃罐中後，經高溫高壓完成滅菌後，將北蟲草之液態菌種接種至玻璃瓶後移入移動式植物工場於 24℃下進行培養，栽培空間相對濕度控制在 85-88 %，二氧化碳濃度維持在 500-800 ppm。

四、結果與討論

農業試驗所於民國 85 年起利用移動式空調貨櫃建置菇類栽培設施，用來栽培洋菇與杏鮑菇等各式菇類。此項研究部分成果顯示空調貨櫃菇舍的環境設備可管控各項影響菇類生長之因子。空調貨櫃菇舍栽培洋菇平均產量為 50.62kg/坪、生物效率為 65.2%高於當時一般空調菇舍之 41.72kg/坪及 48.2%。近年來也有業者利用貨櫃栽種巴西蘑菇，由於這種模式能提供相對穩定的溫度及相對溼度，因此適合成為進行示範及推廣的工具。

本研究建置之菇類移動式植物工場，提供菇類栽培及出菇環境，內含緩衝區(含空氣浴塵設備)、培育室、機械室，培育室，可配合做為不同環控條件展示用。內部採層架設計，每層均有 LED 燈管之光照裝置。主要參數控制因子包括溫度、濕度、二氧化碳及輔助光源。另外在支援控制系統亦規劃有水源、電源及外氣的調控介面。為了維持北蟲草生育所需之溫度與相對溼度，採用 PLC 作為自動控制系統，除可監控菇類栽培中的溫度、溼度、二氧化碳及光照條件外，水分供應則採最少水分供應模式，利用微霧加濕維持相對濕度，溫控採多壓變頻模組化系統，並可擴結合太陽光發電系統。菇類環控栽培可控制環境條件規劃為溫度 2～35±1℃、濕度 70～95±2% RH、二氧化碳濃度 400～5000±50 ppm、光照度可調整 50～1000 Lux。

北蟲草子座形成可分為 5 個階段，其一為菌絲團階段，菌絲在再接種後約經 20 天之培養即可達到生理成熟，此時再給予適當之光源誘導即可產生菌絲團，此些菌絲團產生後約經 3-4 天之培養菌絲團內部組織化後，則會變成較堅硬之子座幼原基；之後就會進入第二階段，又稱原基階段，此時原基之顏色仍與營養菌絲顏色相同，但會逐漸膨大，並開始組織分化，2-3 天後會長成頂等端白色，下部呈橙黃色之尖錐形子座芽；之後即進入子座芽階段，子座芽初期約為 1-2 公分高，培養幾天後會變粗伸長，頂端白色會逐漸消失，並進入子座生長階段；子座生長階段時，子座經 5-6 天生長後，

一般不會再增粗伸長，但頭部會膨大成棒型，頂端成鈍圓形或呈尖形，隨後即進入子座成熟期，在子座成熟期時，子座不再變化，但子囊殼會深長並外露，使頂端出現乳頭狀小突起，再過數日子囊殼爆裂，子囊孢子釋放，在其頭部形成龜裂狀花紋，並沾黏黃色粉狀物。本研究顯示北蟲草菌絲體紐結到子座成熟釋放孢子大約為 15~20 天，整體培養周期僅需 50~60 天，試驗結果顯示本技術之產能每罐栽培瓶可產生約 20 公克之菇體，且含有豐富之蟲草素(Cordycepin)，可作為食品或進一步加工製作成保健或美容產品。

本研究利用面積約為 20 平方公尺之移動式植物工場栽培北蟲草之初步成本分析顯示，每批次生產成本約需新台幣 57,000 元，生長週期約為 60 天，周年生產成本約為 342,000 元，若依目前生產情形預估於良率 90%時，所得之周年收益約為 2,700,000 元，因此經扣除設備攤提與生產成本後其周年淨利約為 2,164,700 元，坪效約為 30 萬元/年。此外，加上栽培北蟲草不需要大量用水，相當符合在黃金廊道栽培之需求。

五、結論

近年來我國食藥用菇類產業蓬勃發展，年產值估計已突破 120 億元，生鮮菇類產值接近 90 億元，佔蔬菜總產值之 14%左右。但由於近年來的氣候變遷因素與菌種退化等情形，導致菇類產量下降，價格居高不下。利用「植物工場」栽培菇類，除了可以克服外在的氣候條件，還可以進行「反季節栽培」，達到周年生產的目的，同時還可以增加農民收益。菇類移動式植物工場，由於具有模組化、機動性及拆卸方便性，適合運用於高鐵沿線的「農業黃金廊道」及周邊地區，結合農試所開發出的北蟲草栽培技術，希望經由示範的目的，引領新型態的農企業進駐，並吸引年輕人回歸農村，為農業生產注入年輕生力軍。經由此計畫研究及執行成果，已開始進行技術擴散及各項推廣工作，目前已有業者於太陽能大棚下成功進行各式菇類的生產，如此即可達到企業化並可與綠能產業結合，相當具有發展之潛力。

六、參考文獻

1. 呂昀陞。2009。是蟲，是草-北蟲草特性與栽培現況。豐年 59(21)：33-36。
2. 李楠、龔長宏、張宏。2001。北冬蟲夏草人工栽培技術之研究。食用菌(4) 34-35。
3. 趙余慶、高越文、高志。1999。冬蟲夏草屬真菌化學研究現狀。中草藥 30 (12) : 950-952。
4. 馬濤、馮穎、吳興平、張翼鴻、馬豔、王自力。2007。蛹蟲草的一種寄主昆蟲初步調查和主要成分分析。林業科學研究 20 (1) : 63-67。
5. 劉兆烘、彭金騰、李文汕、張武男。1999。洋菇貨櫃栽培技術之研究。興大園藝學報 24(2)：45-46。
6. 林杏妃。2015。搶救高鐵黃金廊道翻轉農業。天下雜誌 568：136-138。
7. 黃金廊道資訊網 http://gac.water.tku.edu.tw/gold2-1.html。

表一、不同溫度培育北蟲草之影響

Table 1 The fruiting characteridtics of *Cordycepsmilitaris*as influenced by temperature.

	Temperature(℃)forcultivation of*C. militaris*	
	20	24
Weight(g)	16.7±1.95	17.65±1.85
Length(cm)	8.74±0.88	8.47±0.81

圖 1 菇類移動式植物工場的運輸

圖 2 菇類移動式植物工場栽培北蟲草生長的情形

圖 3 黃金廊道周邊地區推動菇類生產

開頂溫室控制系統及微霧降溫技術研究

黃禮棟*、姚銘輝*、鄭皓文**
* 作行政院農業委員會農業試驗所農工組研究員
** 作行政院農業委員會農業試驗所農工組研發替代役

一、摘要

本研究利用反應曲面法探討低溫微霧降溫系統進行不同噴霧溫度、噴頭孔徑與噴霧壓力對溫室內溫度、噴霧粒徑與噴霧流量關係之研究，並將該系統安裝於開頂溫室中，進行設施內部降溫、加濕效率與使用效益面向之評估。將分析結果之設施內溫度、噴霧粒徑及噴霧流量三項反應性狀利用中心組合因子設計（central composite design, CCD）建立其迴歸模式，評估低溫微霧降溫系統之最適操作參數。溫室頂部開頂面積與四周側邊下方開口面積分別固定於 45%與 34%，並將上述三項反應性狀之等高線圖重疊後可得噴霧最適溫度為 10~11℃；噴頭最適孔徑為 0.16~0.18mm；噴霧最適壓力為 96~107 kgf/cm2。依上述之最適操作條件進行實際量測，所得之設施內溫度為 29.6℃、噴霧粒徑為 16μm 及噴霧流量為 1.42 L/min。本研究所得之實驗結果除了可提供低溫微霧降溫系統實際操作所需之參考資料，更可發揮開頂溫室之最大降溫效益。

關鍵詞：噴霧降溫、蒸發冷卻、反應曲面法。

二、前言

台灣位於太平洋季風氣候區，夏季炎熱多雨常有颱風，冬季時逢寒流來襲，又受全球氣候變遷影響，豪大雨日益增多，於此條件下多利用設施遮雨以穩定農作物生產，故本省利用溫室生產已行之有年且相當普及，而為了使作物在最適環境條件中成長，必須要有良好環控設備，目前環控設備已因能源價格之攀升與環境友善的考量之下，除溫室需求功能之外必須考慮設備之能源效率，以期維持產品品質及降低生產成本，提升產品競爭力，研發高壓微霧降溫技術使作物能於適宜之溫、溼度環境中栽培，生產高品質蔬果，提升產品價格，並節約夏秋溫室降溫所需之能源支出，以期對地球節能減碳方面亦有所貢獻。

利用噴霧系統噴出之微霧粒水滴氣化作用吸收溫室內空氣從陽光吸收之熱氣而降低溫室內溫度之研究及利用例子，在台灣已有應用之實例，由於水之氣化熱達 539 卡/公克，故其降溫效果在空氣濕度較低之情形下十分有效，其缺失為當空氣濕度高時效果不顯著，且會使作物潮濕產生病變。國內之善化工業公司於 93 年發表設施高壓噴霧降溫系統，於室外空氣相對濕度 60%-72%情形下，運轉 10 分鐘後室內濕度即

升高至 90-95%之間，有其應用上之限制。北歐芬蘭發展一套水帷幕降溫系統，在當地夏季可於溫室內生產小黃瓜及番茄等，但需要有大型水池以使吸熱之水藉由循環略降溫後再由冷凍系統降低溫度，且設備費用昂貴。依據實際觀測資料結果顯示開頂溫室在無任何降溫設備下，利用自然對流可提供與戶外接近之溫度環境，溫室頂部開啟在夏季正午約可下降 3℃。

雖然開頂溫室的通風對流為目前農業設施較普遍應用的降溫方式，可使溫室內外空氣進行交換，排除設施內高溫高濕的空氣，減少因高濕而衍生的病蟲害，促進植物生長。通風方式又可分為機械通風及自然通風二種。為減少成本支出，農家多使用自然通風，但卻容易造成通風量不足之情況，故此時必須利用機械通風加以輔助改善。在通風良好情況下，設施內降溫極限僅止於與外氣溫度相同，若是作物所需溫度低於外氣溫時，應用蒸發冷卻原理，使用噴霧降溫是一種解決高溫的方法(Prenger et al., 2002)。

三、材料與方法

3.1 實驗地點與材料

本研究所使用的試驗溫室設置於台中市霧峰區農業試驗所(Taiwan Agricultural Research Institute)內(24。1’49”N, 120。41’45”E ; north-south direction)，其結構為圓屋頂錏管塑膠布溫室，長 12m、寬 5m，屋頂高度 4.3m，集水槽高度 3m，覆蓋材料為 0.18mm 厚之 PEP，無內外遮蔭，四面周壁裝有 32 網目之防蟲網及捲揚作業的塑膠布，屋頂為開頂式，由馬達驅動使塑膠布捲收至屋頂頂部，屋頂兩側開頂面積各為 7.8 m ×2 m。土壤表面並覆蓋一層塑膠布，如圖 1 所示。

3.2 低溫微霧降溫系統

本研究利用 YEU HER ENTERPRISE CO., LTD. Taiwan. 所生產的噴霧控制系統，以低溫水作為低溫微霧空調主機之設計基礎，將冷卻介質-水，經由五道過濾器過濾後注入第一水箱儲存，再由循環馬達輸送至蒸發器熱交換為 6~8℃之低溫水之後，經由水離子化器進行二次過濾並分解為更細小的離子以增加霧化效果，離子化後之潔淨水會進入第二水箱儲存，最後由下方出口處之高壓水泵送至低溫水管路及各噴頭執行噴霧降溫作業，而噴頭端的擾流風扇則以強制對流方式增加微霧的熱交換效率，提升降溫效果。系統設計圖如圖 2 所示

3.3 噴霧粒徑量測

以 Mastersizer-雷射繞射粒徑分析儀，對本低溫微霧降溫系統進行噴頭霧化粒徑分析與量測，量測範圍為2.55~850μm微半圓形或不規則形狀粒子，光源為固態雷射，波長 680nm，功率為 1nW，量測濃度為 1ppm~10,000ppm，相對雷射 Obscurations

2%~95%，量測速度為每秒 2,000 個粒徑分佈。

3.4 實驗設計

本研究利用反應曲面法三變數三層級之中心點合成設計（central composite design, CCD），並以噴霧溫度、噴頭孔徑與噴霧壓力做為低溫微霧降溫系統之操作條件。根據預備實驗結果進行評估，將噴霧溫度範圍設為 7℃、10℃、13℃，噴頭孔徑範圍則為 0.15mm、0.20mm、0.25mm，噴霧壓力範圍設為 80kgf/cm^2、100kgf/cm^2、120kgf/cm^2，共計有 15 組處理組，中心點採三重複，如表 1 所示。低溫微霧降溫系統固定操作條件方面，低溫微霧降溫系統啟動時間為 10:00 AM ~ 14:00 PM 共 4 小時，經 1 個小時後，其系統降溫趨於穩定後，進行量測 11 時、12 時以及 13 時之溫室內平均溫度，噴頭數固定為 24 顆，六組軸流風扇之風速固定為 7m/s，溫室開頂面積為 45%，四周捲揚塑膠布由底部至上方 2m 處為封閉，2m 至 3m(集水槽)為開啟作為外氣通風之用。將其分析結果之三項反應性狀利用中心組合因子設計建立其迴歸模式，評估低溫微霧降溫系統之最適操作參數。

圖 1 本研究之開頂溫室

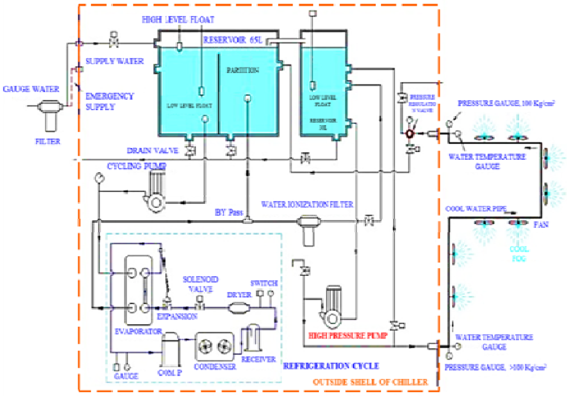


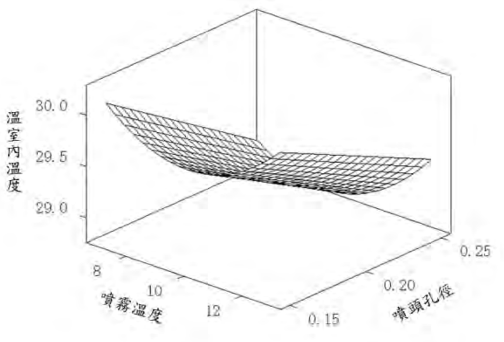
圖 2 低溫微霧降溫系統設計圖

四、結果與討論

4.1 溫室內降溫情形

在噴霧冷卻的應用上，高壓微霧之蒸散速率影響降溫系統的冷卻能力，其量測值如表 1 所示，當霧滴離開噴嘴後，在空氣中高速運動所產生的摩擦與吸熱的過程中粒徑會逐漸蒸散與縮小。因此，當微霧粒徑大小不同時，所產生的熱交換量亦不相同，微霧與空氣間的溫度差而產生的顯熱交換量(Katsoulas et al., 2001)以及微霧和周圍空氣的水蒸氣分壓之間的壓差而產生的質傳，所造成的潛熱交換量，而兩者的代數總和即為空氣與微霧間的總熱傳量，當總熱傳量愈大時，其降溫效果愈好。

各處理組測試後，其溫度變化在 28.2℃至 31.8℃之間。在圖 3 中，溫室內溫度之反應曲面圖可得知，當噴霧溫度較低時，溫室內溫度則會有先下降而後上升之趨勢；而當噴頭孔徑增加，溫室內溫度指標則會有下降的趨勢；當噴頭壓力增加時，溫室內溫度會隨著噴頭孔徑增加，有下降的趨勢，而當噴頭孔徑增加時，溫室內溫度則會隨著噴頭壓力增加，而有逐漸下降。根據反應曲面圖得知，噴霧溫度會隨著噴頭孔徑增加，其霧粒粒徑與噴霧量增大時，其蒸散時間與熱交換率不足，導致濕度過高，無法完全蒸散，進行影響溫度變化；噴霧壓力的提升，增加噴霧的距離，再藉由 6 組擾流風扇產生風速為 7.4m/s 之離心氣流攜帶，迅速地傳送至溫室中，使降溫更有效率(Arbel and Shklyar, 2003)。



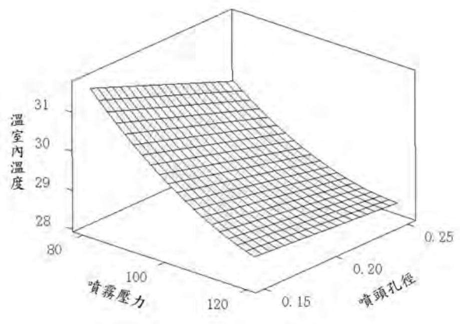


圖 3 溫室內溫度變化之反應曲面圖

表 1 實驗設計與各處理組之量測數據

Treatments	Coded X1	Coded X2	Coded X3	Variables X1 (℃)	Variables X2 (mm)	Variables X3 (kgf/cm^2)	Responses Y1 (℃)	Responses Y2 (μm)	Responses Y3 (L/min)
1	-1	-1	0	7	0.15	100	29.7	15.1	1.32
2	1	-1	0	13	0.15	100	30.2	14.3	1.28
3	-1	1	0	7	0.25	100	29.1	22.2	1.56
4	1	1	0	13	0.25	100	29.9	18.9	1.48
5	-1	0	-1	7	0.20	80	31.5	19.9	1.18
6	1	0	-1	13	0.20	80	31.1	17.5	1.19
7	-1	0	1	7	0.20	120	28.9	15.2	1.60
8	1	0	1	13	0.20	120	29.0	14.8	1.67
9	0	-1	-1	10	0.15	80	31.8	17.3	1.17
10	0	1	-1	10	0.25	80	29.9	22.0	1.28
11	0	-1	1	10	0.15	120	28.9	10.3	1.48
12	0	1	1	10	0.25	120	28.2	17.2	1.66
13	0	0	0	10	0.20	100	29.7	18.2	1.44
14	0	0	0	10	0.20	100	28.8	16.0	1.47
15	0	0	0	10	0.20	100	29.4	16.8	1.53

X1, 噴霧溫度; X2, 噴頭孔徑; X3, 噴霧壓力； Y1, 溫室內溫度; Y2,噴霧粒徑; Y3,噴霧流量

4.2 噴霧粒徑

由量測實驗結果如表 1 所示，噴霧壓力愈大、其細霧之粒徑愈小，而總體表面積與熱交換面積則愈大，導致降溫效果較佳，反之，噴頭孔徑愈大，其粒徑愈大，整體蒸散作用較差，容易造成濕度過高。在圖 4 中，噴霧粒徑之反應曲面圖可得知，當噴頭孔徑在 0.25mm 時，噴霧粒徑會隨著噴霧溫度減少，有快速上升的趨勢，而當噴頭孔徑在 0.15mm 時，噴霧粒徑與噴霧溫度無太大變化。當噴霧壓力增加時，噴霧粒徑會隨著噴頭孔徑增加而有上升的趨勢，而當噴霧壓力增加時，噴霧粒徑則會隨著噴頭孔徑減少亦有相同下降的趨勢。即當噴霧在同樣噴霧壓力、但噴霧溫度低於測試環境露點溫度(約 27℃)的情況時，其粒徑會因為與周圍空氣中的水蒸氣發生質傳(Hwalader and Liu, 2002)，水蒸氣凝結於水滴表面，而使粒徑變大，無論工作壓力的大小會因低溫而造成粒徑增加。在溫室中，噴霧邊界層上的水蒸氣則會蒸散至空氣中，使空氣中濕度增加。若粒徑較大時，有未蒸散完全的狀態下，水滴易附著在作物上，造成植物發生病蟲害，也使得溫室內的環境變成潮濕的情況，故在應用上需以強制通風增加霧粒飄移的距離並提升蒸散效率及降溫效果。

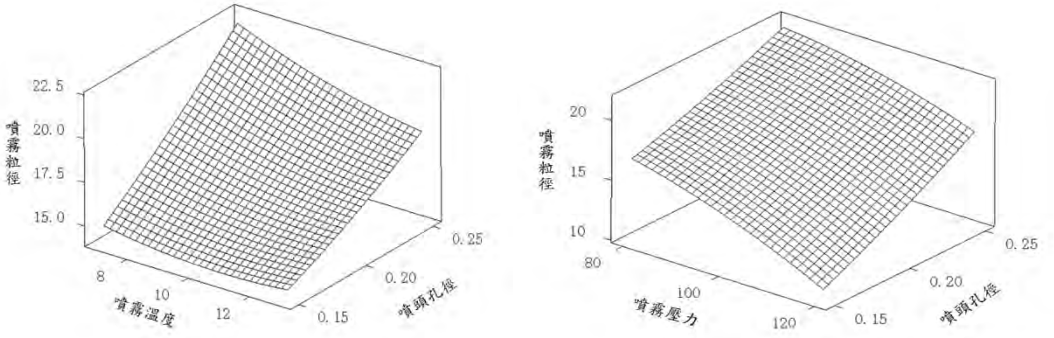


圖 4 噴霧粒徑之反應曲面圖

4.3 噴霧流量

噴霧流量為影響系統之降溫能力及環境濕度的重要參數。噴霧流量經測試後在 1.17L/min 至 1.67L/min 之間，如表 1 所示。在圖 5 可見，當噴霧溫度增加時，噴霧流量會先緩緩上升而後下降的趨勢，亦即噴霧溫度影響噴霧流量較為不大，而噴頭孔徑變大時，會使噴霧流量快速上升，而當噴霧壓力增加時，噴霧流量則有快速上升之趨勢，代表噴霧壓力會隨噴頭孔徑增大而上升。經噴霧流量之反應曲面圖顯示，噴頭之噴霧流量與噴頭口徑及壓力大小成正比，但噴霧量增加的同時環境濕度也隨之上升(Fukatsu and Hirafuji, 2005)，故溫濕度的控制是以間歇噴霧的方式做調控，目前較佳的控制方式是以設定溫室內溫度做為噴霧啟動條件，配合設定相對濕度為停止條件，以達溫室內降溫及避免控制環境內過濕之目的。

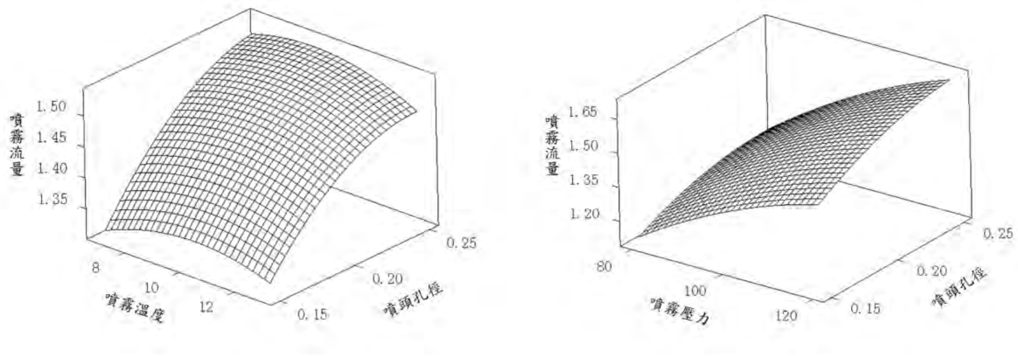


圖 5 噴霧流量之反應曲面圖

4.4 最適操作條件

經由本實驗前述有關低溫微霧降溫系統之各項反應性狀分析可知，產品之溫室內溫度代表植物於溫室內合適之生長溫度。噴霧粒徑在低溫微霧降溫系統中代表蒸散效率的快慢，同時也影響空氣間的熱交換時間與熱交換量，因此，噴霧粒徑同樣也是不能忽略的重要指標。噴霧流量為影響系統之降溫能力及環境濕度的重要參數，實際應用上，測得噴頭的噴霧粒徑及噴霧流量之後，才能依照與降溫之環境性質進行規劃，代表噴霧流量大小影響高壓霧化增加其體表面積後，可直接提升其總熱交換量，進而影響溫室內降溫的程度(Abdel-Ghany and Kozai, 2006)。故以低溫微霧降溫系統之溫室內溫度、噴霧粒徑及噴霧流量作為最適操作條件之指標。並參考下列文獻（蔡等人，2000；黃，2000；余和江，2013；Fukatsu and Hirafuji, 2005）與主觀認定，並配合本研究之實際分析結果，設定條件目標範圍為：29.4℃＜溫室內溫度＜29.8℃；15 μm＜噴霧粒徑≦16 μm；1.36 L/min＜噴霧流量＜1.48 L/min。將以上三種反應性狀之反應曲面等高線圖重疊以找出最適操作區域範圍，如圖 6 所示。重疊以上各範圍之結果，由圖 6 中之白色區域（feasible region），即為本研究之最適操作比例範圍。由圖 6 可得知當溫室內溫度為 29.6℃時，噴霧粒徑為 16 μm 以及噴霧流量為 1.42 L/min。將此驗證條件帶入各反應性狀之迴歸模式，可得噴霧溫度之最佳操作範圍為 10~11℃、噴頭孔徑之最佳操作範圍為 0.16~0.18mm、噴霧壓力之最佳操作範圍為 96~107 kgf/cm^2。

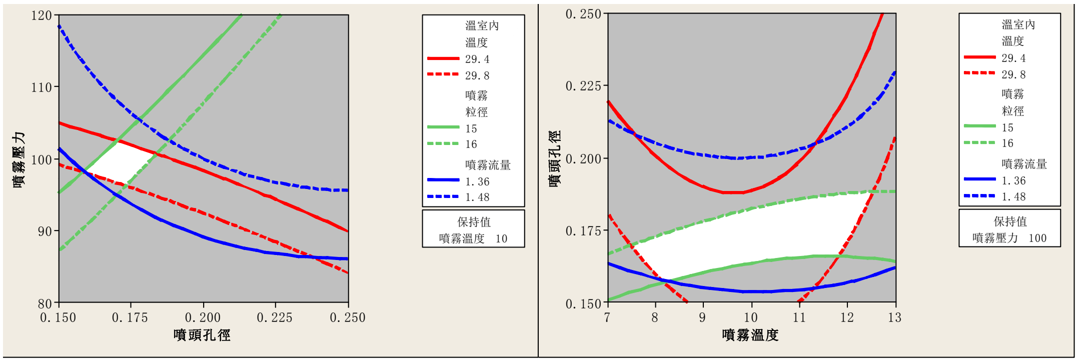


圖 6 等高線圖求最適配方比例

五、結論

傳統風機式噴霧降溫法已普遍應用於溫室植栽及市場等開放性空間進行降溫調節，但無法調控微霧的溫度及粒徑大小，而使降溫效果受限。本研究採用低溫微霧降溫系統可調整噴霧出水之壓力大小，配合不同噴頭孔徑，其噴霧粒徑大小亦隨之改變，以 100kg/cm^2 的壓力噴霧時，大部分微霧在掉落地面以前就完成蒸發，再利用蒸散冷卻的原理，配合擾流風扇，增加通氣量，由開頂溫室之上方開頂面積進行蒸散作用，溫室內溫度與大氣溫度相較之下，其降溫幅度達 6℃以上。本研究之低溫微霧降溫系統，以高壓噴霧能產生較佳的霧化效果，提升蒸發冷卻效率，故較低壓系統更具經濟效益，根據本研究之提供低溫微霧降溫系統最適化操作條件作為參考資料，更可發揮開頂溫室之最大降溫效益。

六、參考文獻

1. 余光正、江晏慶。2013。以冰霧空調系統改善環境負離子數量及降溫之研究。綠色科技工程與應用研討會。論文編號:GT3-004 127~132。
2. 黃裕益。2000。鼓風式噴霧法於開放型溫室降溫之研究。農業機械學刊 9(4)：17-~30。
3. 蔡致榮、梁連勝、陸龍虎。2000。氣輔噴霧系統之模擬評估。中華農業研究 49(2)：68~87。
4. Abdel-Ghany, A.M., E. Goto and T. Kozai. 2006. Evaporation characteristics in a naturally ventilated, fog-cooled greenhouse. Renewable Energy 31: 2207-2226.
5. Arbel, A., M. Barak and A. Shklyar. 2003. Combination of forced ventilation and fogging systems for cooling greenhouses. Biosyst. Eng. 84: 45-55.
6. Fukatsu, T. and M. Hirafuji. 2005. Field monitoring using sensor-nodes with a web server. Journal of Robotics and Mechatronics 17(2)：164-172.
7. Hwalader and Liu. 2002. Numerical study of the thermal hydraulic performance of evaporative natural draft cooling towers. Applied Thermal Engineering, 22 : 41-59.
8. Katsoulas, N., A. Baille, and C. Kittas. 2001. Effect of misting on transpiration and conductances of a greenhouse rose canopy. Agricultural and Forest Meteorology 106:233-247.
9. Prenger, J. J., R. P. Fynn and R. C. Hansen. 2002. A comparison of four evapotranspiration models in a greenhouse environment 45(6): 1779–1788.

設施內害蟲誘引排除裝置之開發與研究

林立[*]、張光華[*]、張芝蓉[**]、葉育哲[***]
*花蓮區農業改良場作物環境課助理研究員
**花蓮區農業改良場作物改良課助理研究員
***花蓮區農業改良場作物改良課副研究員兼課長

一、摘要

蘭花設施栽培過程當中，泥炭土栽培介質或水苔中的黑翅蕈蠅(*Bradysia sp.*)為騷擾性昆蟲，終年活動頻繁，恐成為蘭花帶介質外銷時的檢疫障礙。本研究利用不同光波之 LED 燈進行誘捕，由 360-515nm 波段之間選取 6 個固定波長之 LED 燈進行誘引效果試驗，結果顯示其中一個波長可顯著誘引到最多的蕈蠅，共計 261.7 隻/黏板。接續將此波長進行蘭花溫室內不同高度和時段誘引測試，以評估最佳放置 LED 高度和時段，由結果顯示 140、170 和 210 公分高度對於蕈蠅之誘引，並無顯著影響；但時段測試部分可發現 18:00~21:00 時段比另外兩個時段誘集到的蕈蠅隻數多，且與對照組的全時段開啟 18:00~03:00 相比，並無顯著差異，若以開啟 3 小時可誘集到最大量的蕈蠅而言，此操作可節省 2/3 電費。本研究未來將朝向設施蠅類害蟲燈光附掛式誘引裝置進行開發。

關鍵字：蕈蠅、設施、蘭花、誘引

二、前言

農業設施可阻隔作物與外部環境，作物受到保護，免於病蟲害、鳥害、雜草及氣候造成的危害。然而設施的阻隔特性，雖是作物的保護傘，也同時是內部有害因子排除的障礙。因此若有病蟲害入侵設施，往往蔓延快速且不易解決，有機農業設施更是如此。溫室生產體系在台灣常年高溫多濕的環境下，有害生物種類繁多，其中蠅類害蟲包含石斛癭蚋、非洲菊斑潛蠅，皆屬於設施花卉重要的蠅類害蟲。而水苔或泥炭土栽培介質中的黑翅蕈蠅，為騷擾性昆蟲且終年活動頻繁，因其個體小常被忽略(陳等，2004a；陳等，2004b；陳等，2012)。

這些蠅類昆蟲無論是栽種期間或是貨物出口時，皆可能影響花卉品質，也恐成為蘭花帶介質外銷時的檢疫障礙。目前國內的防治方式除了化學藥劑之外，亦有利用物理防治法中的黃色黏板誘引，以及業者利用小型風扇及誘蟲燈組成的小型裝置可誘捕這些蠅類昆蟲，但需整園掛置多個該裝置，才有減少蠅類密度之防治效果，所需費用不低。因此本計畫期望開發蠅類害蟲通用的附掛式燈源裝置，以有效大量誘吸害蟲，同時降低密閉設施內大量使用化學藥劑的頻度，以維護人體健康。

光線誘殺裝置是利用昆蟲趨光特性所開發之誘殺害蟲的防治技術，其中LED 光源具有單波長、低耗電、具有指向性等特性，適合進行昆蟲誘引最佳化試驗，並於夜晚應用於害蟲防治(Shimodaand Honda, 2013)。有關昆蟲視覺的研究早在1940年代即進行，大多指出昆蟲對於藍色光或近紫外光有趨光性，其中有文獻指出，昆蟲演化出此驅光性，是源自於太陽西下後，暮光中低波長光線佔比最高，昆蟲可依靠對低波長光線的感知了解方位(Cruzand Lindner, 2011)。針對蠅類昆蟲的研究中亦提及，以藍色光源具有良好誘引效果(Stringer and Meyer-Rocho, 1994)，桃園區農業改良場之研究也發現採用UV LED 為光源對夜蛾類誘引效果優於其他波長(李和施，2012)本試驗即利用不同波長之LED光源進行測試，開發最佳誘引蠅類昆蟲之技術。

三、材料與方法

3.1 蝴蝶蘭溫室內不同色光誘蟲之研究

於 105 年 5 月 9 日開始，在花蓮區農業改良場一蝴蝶蘭溫室內之 4 個風扇上，其中最靠兩邊外側之 2 個風扇分別附掛發光二極體（light-emitting diodes, LEDs）藍光和白光燈源，風扇外裝置 32 目白色蟲網(長 140cm x 寬 140 cm x 深 300 cm)，風扇開啟設定為 28±1℃，燈源開啟設定 20:00~02:00，共計 6 小時。連續 3 日計算捕捉蕈蠅之蟲數。中間兩風扇為無燈對照組，同樣計算捕捉之蟲數，以可誘引最多蟲口數之光源，開發風扇通用誘蟲裝置。

3.2 特定波長光源於溫室誘蟲試驗

與素樸東籬公司合作製作特定波長LED燈，波長範圍為360-515nm波段，在此範圍內製作6個特定波長之LED燈，懸掛於溫室內距離地面高度170cm處，6個LED燈彼此之間間隔約4m，光源前放置一透明黏板(圖一)，每天18:00~02:00開啟，共計8小時。連續開啟3個晚上後收取黏板，並且每次收完黏板時，將每個光源位置往右順挪一格(rotation)，以避免因溫室內空間差異的變因影響燈源操作變因。共順挪6次，做為6重複，另設置一不開燈組作為對照。

3.3 高度對誘引蕈蠅之研究

為探討蕈蠅最佳之誘引高度，於 106 年 2 月開始在花蓮區農業改良場一蝴蝶蘭溫室內進行，於溫室內同一面牆分別設置高度為 140 cm 、170cm 及 210cm 之誘引裝置，每個誘引裝置之間距離 10 m，誘引裝置由 LED 燈和黏板組成，於三個高度同樣設置特定波長之 LED 燈粒，並於燈粒四周放置一透明黏板。燈源開啟設定 18:00~02:00，每3 日收取黏板並計算捕捉到之蕈蠅蟲數，另為排除水牆與風扇位置之間蕈蠅分佈之差異，每 3 天調整一次誘引裝置高度，使每一個高度處理皆能輪到同樣位置，共 3 重複。

3.4 時段對誘引蕈蠅之研究

為探討蕈蠅最佳之誘引時段以減少用電成本，於 106 年 4 月開始在花蓮縣吉安鄉一蝴蝶蘭溫室內進行，於溫室內同一面牆分別設置 4 個高度為 170cm 之誘引裝置，誘引裝置由 LED 燈和黏板組成，每個誘引裝置燈光開啟時間分別為 18:00~21:00、21:00~24:00、24:00~03:00，對照組為涵蓋上述所有時段之 18:00~03:00，於 4 個誘引

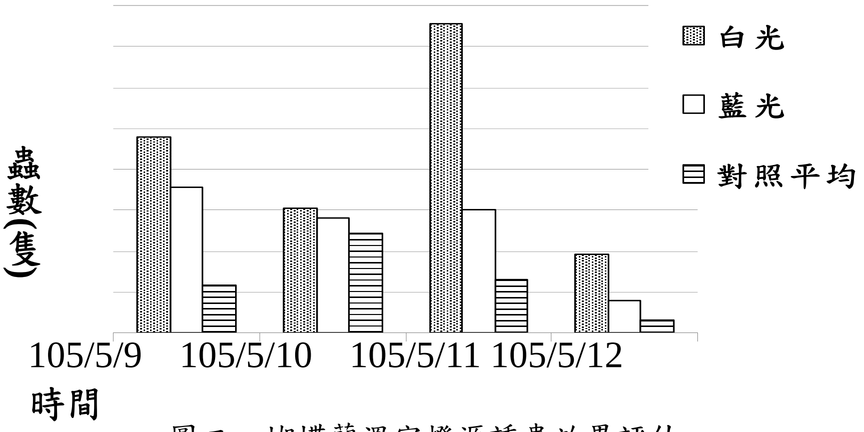
裝置同樣設置特定波長之 LED 燈粒，並於燈粒四周放置一透明黏板。每日收取黏板並計算捕捉到之蕈蠅蟲數，另為排除水牆與風扇位置之間蕈蠅分佈之差異，每次收取黏板時依序調整一次誘引裝置時段，使每個時段處理皆能輪到同一個位置，共 3 重複。

圖一、蝴蝶蘭溫室內放置特定 LED 之燈泡。

四、結果與討論

4.1 蝴蝶蘭溫室白光和藍光誘蟲之研究

溫室內附掛藍光和白光 LED 燈源，連續 4 日於開燈當晚隔天計算捕捉之蟲數，試驗處理中間兩風扇無附掛燈源為對照組。結果平均每日捕獲蟲數白光為 86.5 隻、藍光 50.8 隻，對照組最少僅捕獲蠅類 26.0 隻(圖二)，可確認蕈蠅昆蟲能被光所誘引。依據試驗結果平均每日捕獲蟲數以白光燈源處理組最多，藍光其次。但由於白光燈為混成光源，特徵波長多且廣，難以解析最有效的誘引波長。為了解有效吸引蕈蠅昆蟲之最佳波長光源，後續將依此結果訂製等光強度的單波長 LED 燈粒，後續並以設計的燈源誘蟲裝置附掛風扇，評估該裝置搭配風扇可誘引排除的溫室害蟲數量。



圖二、蝴蝶蘭溫室燈源誘蟲效果評估

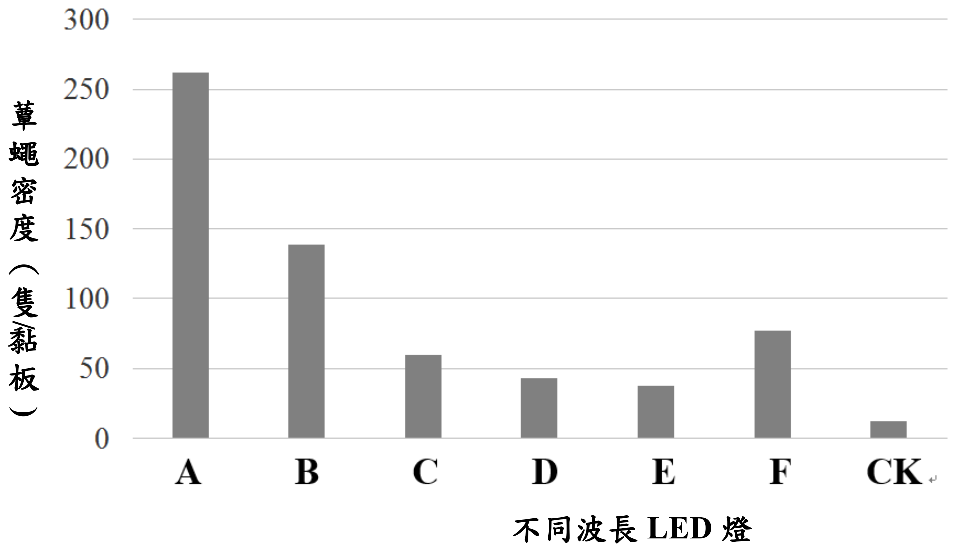
4.2 特定波長光源於溫室誘蟲試驗

由圖三結果顯示，A 波長之燈光所誘引到的蕈蠅密度最高，為 261.7 隻，隨著波長增加蕈蠅密度依序為 138.3、59、42.5、37 隻，此結果與李和施(2012)年以不同波長誘引蛾類昆蟲結果相似。然而較高波長的 F 反而誘引到的蕈蠅密度增高為 76.5 隻，魏等（2000）研究結果也顯示棉鈴蟲蛾的趨光行為曲線，在紫外光區 340-360 nm 及藍光區 483 nm 處有兩個高峰。另外張等（2001）進行家白蟻（*Coptotermesformosanus*Shiraki）之有翅成蟲群飛期間對三種發光二極體（light-emitting diodes, LEDs）的趨性研究，發現三種發光二極體發出的色光照射到水面之反射光，所誘集的有翅型家白蟻，以藍色光（367-583 nm）與綠色光（525-648 nm）顯著多於紅色光（600-733 nm）。推測對於最佳誘引昆蟲的光波長可能不只一個波段(色光)，然而目前就本研究結果而言，以短波長誘引黑翅蕈蠅效果最佳，明顯多於其他處理組，對照組黏板蟲數，則明顯低於各處理組。

表一、不同設置高度 LED 燈誘引的蕈蠅數量。

Height	***Bradysia sp.*** **Number**
140cm	32a[z]
170cm	23a
210cm	23a

[z] Mean separation within each column by LSD test at P≦0.05. n=9



圖三、不同特定波長 LED 燈誘引之蕈蠅隻數

4.3 高度與時段對誘引蕈蠅之研究

由試驗結果顯示 LED 燈具設置在 140、170 和 210cm 高度對於蕈蠅之誘引並無顯著影響(表一)。但不同開燈時段測試部分可發現 18:00~21:00 時段比另外兩個時段誘集到的蕈蠅隻數多，但與對照組的全時段開啟 18:00~03:00 相比並無顯著差異，若以開啟 3 小時可誘集到大部分的蕈蠅而言，未來在開啟時段控制上此操作可節省 2/3 電費(表二)。

表二、LED 燈於不同開燈時段誘引的蕈蠅數量。

Time period	*Bradysia sp.* Number
18:00~21:00	26a[z]
21:00~24:00	14b
24:00~03:00	9b
18:00~03:00	33a

[z] Mean separation within each column by LSD test at P≦0.05. n=12

五、結論

本研究接續將以上基礎試驗結果，應用特定短波長 LED 燈源，研發通用的附掛式燈源裝置，藉由吸力強的負壓排風扇將害蟲排出溫室，以確保作物不因有害生物而受損，並減少農藥使用，進而提升其品質與競爭力。

六、參考文獻

1. 李汪盛、施錫彬。2012。新型LED誘蟲器研發。桃園區農業改良場研究彙報 72：66–76。
2. 陳淑佩、王清玲、翁振宇。2004a。溫室內蘭花常見有害生物介紹及其防治建議(上)。台灣花卉園藝 205: 25–29。
3. 陳淑佩、王清玲、翁振宇。2004b。溫室內蘭花常見有害生物介紹及其防治建議(下)。台灣花卉園藝 206: 26–29。
4. 陳淑佩、翁振宇、林秀枝、古琇芷。2012。建置蘭花有害生物預警及查詢系統。農業試驗所技術服務季刊90: 17–21。
5. 張琳、徐爾烈、王文哲。2001。有翅型家白蟻(*Coptotermesformosanus*Shiraki)(等翅目：鼻白蟻科)的趨光性研究。臺灣昆蟲 21(4):353–363。

6. 廖信昌。2014。103年度教師產學合作計畫結案報告書-多功效捕蟲器之組裝及測試。美和學校財團法人美和科技大學 pp.13。
7. 魏國樹、張青文、周明群、吳衛國。2000。不同光波及光強度下棉鈴蟲(*Helicoverpaarmigera*)成蟲的行為反應。生物物理學報 16(1):89–95。
8. Cruz, M. S. and R. Lindner. 2011. Insect Vision: Ultraviolet, color, and LED light. Studylib.net.
9. Shimoda,M. and K. Honda. 2013. Insect reactions to light and its applications to pest management. ApplEntomol Zool. 48: p.413–421.
10. Stringer, I. A. N. and V. B.Meyer-Rochow. 1994. Attraction offlyinginsects to lightofdifferentwavelengths in aJamaican cave. Mtmoires de Biospblogie.21: 133–139.